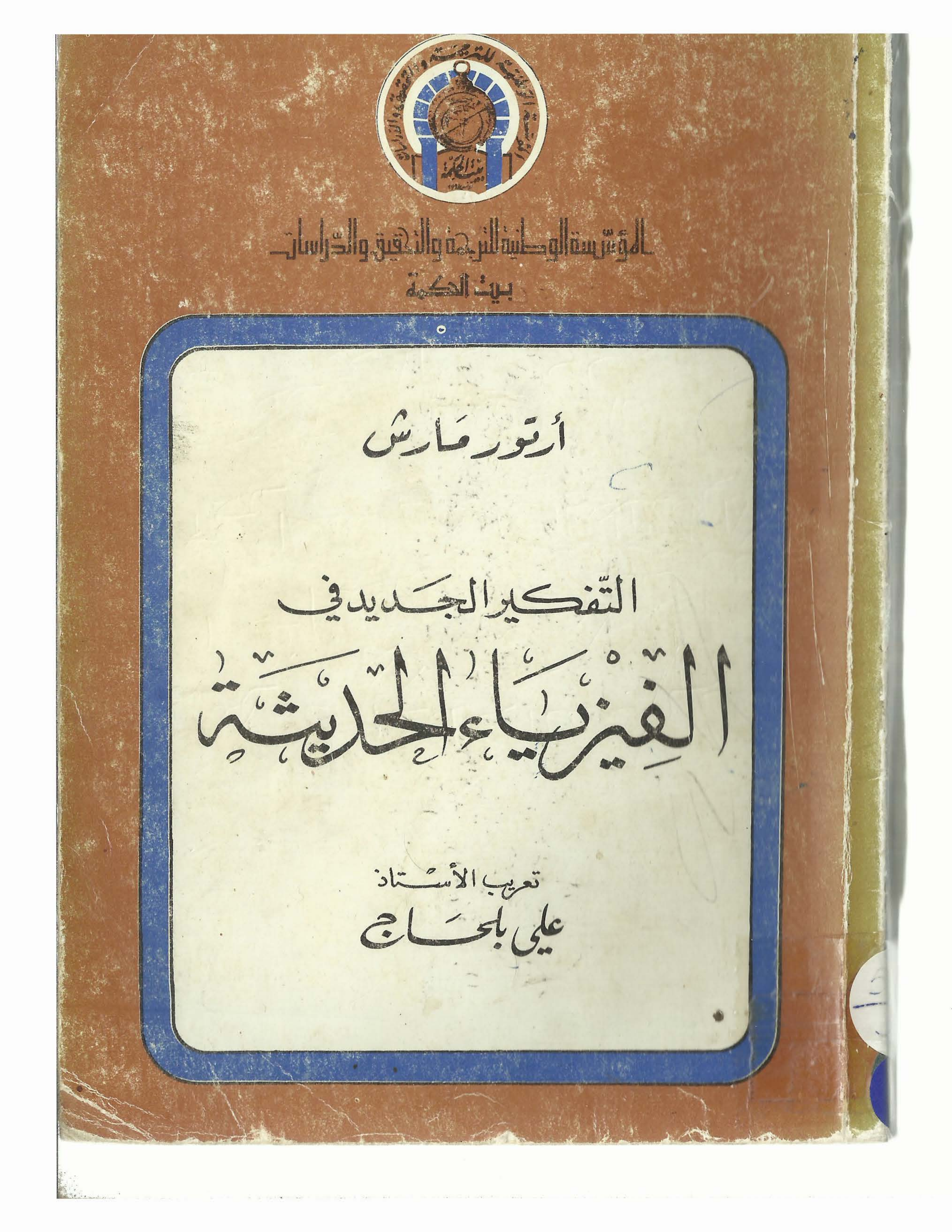
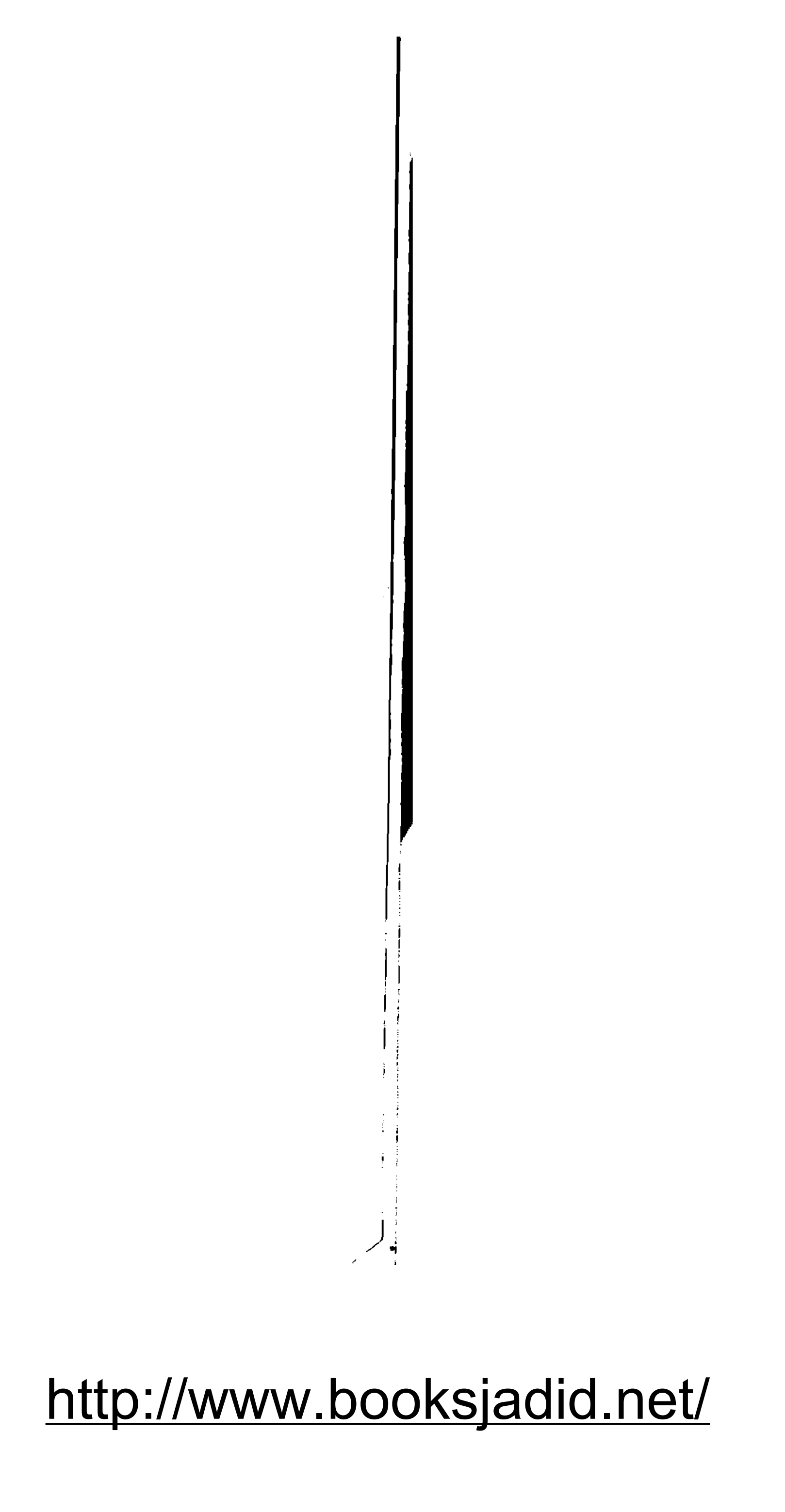


المؤسسة الوطنية للترجمة والتحقيق والدراسات
بيت الحكمة
أرتور مارش
التفكير الجديد في
الفيزياء الحديثة
تعريب الأستاذ
علي بلحاج



المؤسسة الوطنية للترجمة والتحقيق والدراسات

* بيت الحكمة *

أرتور مارش

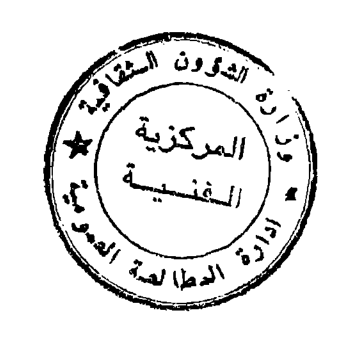
التفكير الجديد في الفيزياء الحديثة

تعريب الأستاذ

علي بلحاج

1986

صدر في الأصل ضمن مجموعة : Rowohlts
deutsche enzyklopadie
تحت عنوان : Das Neue Denken der
Modernen Physik



مقدمة

لم تكن الفيزياء في القرن الماضي تستهوي الرأي العام إلا قليلا . فقد كان الناس يعتبرونها من مهام علماء دكاترة يعملون في معاهد بسيطة الامكانات . إلا أنها معاهد كانت تفي بحاجة العصر في ميدان الفيزياء . ولم يكن أحد ليشغل نفسه بصرف نفقات كبيرة في هذا الميدان بل كان العلماء يكتفون بأجهزة بسيطة جدا زهيدة الثمن للوصول إلى أهم المعارف . فغاليلي كان يقنع أثناء قيامه ببحوثه حول سقوط الأجسام بساعة وبضع حجرات يدعها تهوي من أعلى قلعة « بيز » المنجنية . أضف إلى تلك الوسائل البسيطة ذكاء الرجل وملكة الملاحظة الذين منحته إياهما الطبيعة . كما أن الآلات التي مكنت بعد ذلك من تحديد المكافىء الميكانيكي للحرارة كانت آلات زهيدة الثمن أيضا . وفارادي مثلا ، تمكن من اكتشاف قوانين التحريض الكهرمغناطيسي مقابل مصاريف مخبرية لم تكن تتجاوز بكثير مائة الفرنك .

فكيف تمكنت الفيزياء ، في العصور السابقة إذن ، من النمو بأقل التكاليف في حين أنها تتطلب اليوم أموالا طائلة ؟ لا يكمن السبب في أن الفيزيائيين القدامى كانوا حريصين على الاقتصاد في وسائلهم الضعيفة بل أنهم كانوا يواجهون عالما لم يكن سيره يتطلب مصاريف باهضة : عالم التجربة اليومية المفتوح مباشرة على حواسنا . فالالكترونات والبروتونات والقسيمات الأخرى كانت مجهولة في ذلك العهد . وكان موضوع الدراسة يقتصر على سلوك الأجسام الكبيرة المرئية التي لا تعترض سبيل ملاحظتها أية صعوبة

تقنية . فالبحث فعلا لم يكن مرتبطا إلا بالقدرة على اختراع وسائل لقيس هذه الظاهرة الطبيعية أو تلك قيسا كميا . ولقد ألف مجموع القوانين التي أفرزتها أمثال تلك البحوث ما يسمى اليوم بالفيزياء الكلاسيكية وفي بعض الأحيان يؤكد بعضهم على أن تلك الفيزياء قد تجاوزتها الأحداث وأن اكتشافات عصرنا هذا قد عوضت القوانين القديمة بأخرى جديدة .

صحيح أن ظهور القسيمات العنصرية ـــ وهي محل نظر الفيزياء الحديثة ـــ قد كذبت بطرق عديدة ، قوانين الفيزياء الكلاسيكية . إلا أن تلك القوانين ، متى طبقت على أحداث العالم المرئي الذي وضعت من أجله ، احتفظت بكامل صلاحيتها دون أي تغيير .

ولقد اتجه البحث العلمي منذ بداية هذا القرن نحو عالم يشكل الأساس الخفي للكون المرئي . إنه عالم يتألف من قسيمات مادية تستعصي على كل تجزئة ، تخيلها ديمقريط وسماها ذرات وهي تسمية قد فقدت الآن معناها الأصلي لأن ما اعتدنا أن نسميه ذرة ليس بالشيء الذي لا يتجزأ ولكنه تشكيلة من نواة وعدة الكترونات . فهو من أصغر الأجسام إلا أنه مازال يتمتع بكل خصائص الأجسام الكيميائية البسيطة . غير أن الالكترونات ـــ على غرار ما يكون النواة في الذرة ـــ غير قابلة للتجزئة لحد علمنا الآن فهي إذن ذرات حقيقية بالمعنى الديمقريطي الأول : وتحمل اسم قسيمات عنصرية وتشكل عالما ما يزال غريبا إلى يومنا هذا لكن ثبت أنه يخفي قوى كامنة هائلة يمثل سبرها واستعمالها في أيامنا هذه الشغل الأساسي الشاغل للفيزيائيين والدول .

فما هي القوانين التي تحكم ما يحدث للقسيمات العنصرية ، على المستوى المجهري ؟ هل مازال يسمح لنا باعتقاد أن تلك القسيمات تتصرف تصرف الأجسام الكبيرة فلا تتميز عنها عندئذ إلا بصغر الحجم ؟ لقد سدد

التقدم الحاصل في معرفة الكون المجهري ، الضربة القاضية لما ظن لزمن طويل ، أمرا بديهيا . إذ تبين أن من الخطأ أن نثق ثقة عمياء في الفيزياء الكلاسيكية . لكن لماذا لا نستطيع أن نطبق على عالم القسيمات الصغرى ، قوانين جربت صحتها آلاف المرات ؟ إن الشك في صحة تلك القوانين الراسخة كان يعد غرورا لا يعقل لذلك رفضت فكرة « بلانك » الثورية بخصوص نظام طبيعي ذي مسلكين وذلك طيلة سنوات باعتباره أمرا مستحيلا .

إنه لمن السهل أن ننتقد تلك الطريقة في التفكير بعد فواتها . فالخطأ يبدو لنا الآن جليا وهو ناجم عن الاعتقاد بأن عالم القسيمات الأخيرة مجرد مثال مصغر من العالم المرئي الخام في حين أنهما في الواقع عالمان يختلفان تمام الاختلاف : فالقسيمة العنصرية ليست بمثابة حبيبات من الرمل في منتهى الصغر من حيث الحجم بل لو كان صغر الحجم هو سبب الفارق بين الكترون أو بروتون أو ميزون وأي جسم تمكن معالجته بالوسائل المألوفة العادية ، لما تطلبت دراستها قيام فيزياء خاصة متميزة . فخاصية عدم الانقسام في القسيمات العنصرية لها أهمية تختلف عن أهمية صغر الحجم ولا بد من ادراك هذا المفهوم . فعدم الانقسام لا يعني البتة أننا غير قادرين على تجزئة القسيمة العنصرية إلى عدة أجزاء لأن ذلك دون طاقاتنا بل يعني أن القسيمة بصفة عامة ليس فيها أجزاء فهي إذن غير قابلة للتحليل . وها هنا صفة لا مثيل لها في العالم المرئي إذ كل الأجسام التي ندركها ــ مهما كان صغرها ــ تتألف من تركيبة ذرات ففي إمكانها أن تتغير بتغير التركيبة . وفي هذا الاتجاه كان ديمقريط يتفهم التحولات التي تطرأ في العالم المرئي . أما القسيمة العنصرية فإنها تبقى كما هي الوقت كله ولا تستطيع إلا أن تغير **موقعها** فهي لذلك تظهر سلوكا مغايرا تماما لسلوك الجسم المرئي . ولقد

بين « بلانك » في الدراسة الأساسية التي أصدرها سنة 1900 حول توزيع الطاقة المشعة في الجسم الأسود أن التوزيع الفعلي الملاحظ لا يمكن أن يفهم إلا انطلاقا من افتراض أن الحدث على المستوى المجهري يحصل فجأة على قفزات بأفعال متغيرة . فكانت تلك الفكرة الأصلية في فيزياء الكم الحديثة التي لم تكتمل بعد مع أنه يمكن أن نعتبر أسسها أمرا يقينا .

لقد تطورت الفيزياء الكمية في اتجاه تجريدي تصاعدي جعل فهمها في منتهى الصعوبة فأصبح من المستحيل رسم صورة ملموسة لما يحدث في الكون المجهري والسبب في تلك الاستحالة هو ، من جديد ، أن المفاهيم التي نلتجيء إليها عند الحديث عن الكون المرئي المعتاد لا تفي بتأويل عالم القسيمات العنصرية المجهري ولا تليق حينئذ بتصويره وهذا ما اضطر الفيزياء الحديثة إلى تغيير تفكيرها جذريا واستعمال مفاهيم غير قابلة للتأويل تأويلا محسوسا وإن كانت معانيها دقيقة من حيث أنها رموز رياضية . فالفيزياء المعاصرة إذن منغلقة على فهم من يعالجها من الخارج لا لأن الفيزيائيين لا يهتمون بالتصورات المفهومة بل لأن غرابة تلك الفيزياء تابعة لمحتوى بحث بذاته لا يتحمل التصور الملموس . ولا يخلو ذلك من امكانية للمقارنة الطريفة بين الفيزياء والفن العصريين . أليس الفن العصري بصدد التخلي هو أيضا عن كل العلاقات التي تربطه بالعالم الموضوعي بإبراز تجارب معاشة تخرج من كل تصور موضوعي ؟

إن ما ينتج عن الملاحظات السابقة الأولية هو أن المرور من الفيزياء الكلاسيكية إلى الفيزياء المعاصرة التي سنحاول في الصفحات التالية رسم معالمها أوضح رسم ممكن قد شكل شيئا آخر غير الزيادة الكمية البسيطة في معرفتنا للطبيعة ولو لم تتعلق المسألة إلا بذلك لما كانت هناك صعوبات

خاصة . فالواقع أن الأمر يتعلق خاصة بمعالجة ميدان جديد في العلم يتطلب سَبْرهُ نوعا من التفكير جديدا كل الجدة . وبما أن طريقة التفكير الجديدة رياضية أساسا ، وجب علينا ها هنا التخلي عن إعادة رسمها إعادة وفية ومحاولة تركيبها ــ ما أمكن ذلك ــ انطلاقا من اللغة المألوفة . إلا أن لهذا النوع من المحاولات حدودا طبيعية لا بد من تنبيه القارىء إليها ورغم كل ذلك نحن نأمل أن يسهم عرضنا في التعريف بتطور الفيزياء الحديثة تعريفا حسنا .

وسيجد القارىء في آخر هذا الكتاب استعراضا ملخصا للمواضيع الأساسية التي أثيرت فيه قد تسهل عليه قراءته .

الفصل الأول
تسلسل الأفكار في الفيزياء الكلاسيكية

التصور الآلي والتصور الغائي : ديمقريط .

إن الفيزياء علم تجريبي ترتكز كل مقولاته على التجربة . فإذا ما أراد الفيزيائي معرفة أي شيء وجب عليه الاحتكام إليها إذ لا فائدة ترجى من التفكير المجرد . ومهما بلغت جذوة ذكاء الفيزيائي فإنها لن تمكنه بمفردها من اكتشاف ما يحدث إذا ما قربت ممغنطة من تيار كهربائي أو إذا ما سلط شعاع ضوئي على بلورة . فالتجربة وحدها هي التي تمكنه من ذلك . غير أن التجارب تصبح عديمة الفائدة إذا كان سير الظواهر الطبيعية خاضعا لسلطان عشوائية عمياء لا يمكن تقديرها إذ أنه يصبح من العبث ، في تلك الحالة ، القيام بأية تجربة ما دامت تلك التجربة لا تفضي إلى نفس النتائج عند اعادتها . ولا يمكن أن يقام علم الفيزياء إلا إذا أمكن ارجاع ما يحدث في الطبيعة إلى نظام معين تحكمه قوانين فتجعل إمكانات التنبؤ به أمرا واردا . وأول ظهور للفيزياء يعود إلى القرن الخامس قبل المسيح ، على لسان ديمقريط عند قوله : « لا شيء يحدث عرضا بل لكل شيء علة وحتمية ». فاستمرت هذه المقولة التي تعني جبرية كل ظاهرة طبيعية زمنية كركيزة راسخة للفيزياء الكلاسيكية إلى أن جاءت لتطعن في صحتها علاقات التشكك التي قدمها « هيزنبارغ » . على أن مقولة ديمقريط لم تؤخذ بعين الاعتبار قديما فقد رفضها أرسطو مؤكدا على أن ديمقريط لم يأخذ بعين الاعتبار الأسباب الغائية وهي أسباب في نظر أرسطو لها دور أهم من دور الحتمية الطبيعية التي وضعها ديمقريط في المقام الأول . فهي في رأي أرسطو هي التي تعطي معنى لكل ما يحدث في الطبيعة .

فها هنا إذن تصوران «متقابلان» للكون : تصور آلي لديمقريط وتصور غائي تميز به أرسطو (واحتل به مركزه في عصر النهضة) ولا نستطيع الجزم بصحة التصور الأول ولا ببطلان التصور الثاني إلا أننا نستطيع أن نثبت أن النظرية الأولى كانت جد مفيدة لتقدم الفيزياء على عكس النظرية الثانية . ففي الواقع، إذا ما اقتصرنا على أهداف الفيزياء دون سواها ، ليس من السهل دحض الفكرة القائلة بأن الفيزياء لا تتمكن من تحقيق أهدافها إلا إذ مكنت من التنبؤ بما يلي من الحوادث ، إذ ما الذي نأمل أن يقدمه لنا الفيزيائي ؟ نحن نطالبه بأن يعلمنا بما سيحدث إذا ما وضعت الطبيعة في حالة من الحالات وذلك بواسطة تجربة ما يقوم بها . على أن ذلك لا يصبح ممكنا إلا بالارتكاز على قانون طبيعي يمكننا من وضع علاقة بين الحاضر والمستقبل وذلك بربط الوضع الآني لنظام ما بأوضاعه المقبلة . ومعنى ذلك بعبارة أخرى ، أن الفيزياء تتجه — عند بسطها لتنبؤات ما — نحو التصور الآلي لا التصور الغائي . فهي لا تهتم بالغاية المقصودة من حدوث الظاهرة المتوقعة ولكنها ترتكز على أن الحاضر يجلب بالضرورة مستقبلا نعرفه مسبقا معرفة كاملة دون أن نهتم بمعرفة ما إذا كان ذلك المستقبل خيرا أو شرا . ثم إن فيزياء مرتكزة على التصور الغائي لم تثمر أي شيء حتى في الفترة التي كان فيها ذلك التصور سائدا .

حتمية ضيقة وحتمية احصائية :

ما الذي ينجر عما تقدم ؟ يبدو أن الفيزياء — بما أن تفسيراتها الغائية تؤدي إلى طريق مسدود — ليس لها إلا أن تكون آلية . إلا أن هذا أيضا ليس بالصحيح إذ أن هناك احتمالا ثالثا نذكره ها هنا وسوف نعود إليه عند الحديث عن الانتقال من الفيزياء الكلاسيكية إلى الفيزياء الكمية فعندئذ سيظهر لنا أن التصور الآلي يستحيل أن يثبت فنضطر إلى التفتيش عن مخرج آخر .

ولقد أكدنا منذ حين على أن الفيزياء مهما كانت نظرتها لا بد أن تمكننا من التنبؤ بما سيحدث والفيزياء الكمية لا تشذ ، هي أيضا ، عن ذلك المبدأ . غير أن التنبؤ لا يمكن أن يحصل إلا إذا ارتبط ما يحصل في الطبيعة ، بنظام يشد الحاضر إلى المستقبل . فلا يمكن لهذا النظام أن يستتب في رأي ديمقريط إذا كانت الأحداث الطبيعية تحصل بصفة عشوائية أو بعبارة أخرى إذا لم تكن مضبوطة ضبطا دقيقا . فديمقريط كان يفترض إذن وجود نظام من نوع خاص يمكن تلخيصه بقولنا : « إن نفس الأوضاع تتسبب دائما وبدون تغيير في نفس النتائج » . لنفترض وجود هيكل مغلق (أي هيكل لا يتسلط عليه أي تأثير خارجي بحيث يمكث سيد نفسه تماما) نعود به ــ بعد اخضاعه لعمليات عديدة ــ إلى حالته الأولى فسيبدو لنا في تلك الحالة أن الهيكل يمر دائما وبصفة مضبوطة بنفس المراحل ويجتاز نفس السلسلة من الحالات المتلاحقة . وهذا اثبات للحتمية الضيقة التي كان ينادي بها ديمقريط فالنظام قائم ما دام يمكننا من التنبؤ بما سيحدث .

لكن النظام الديمقريطي ليس الوحيد الذي يتميز بهذه الخاصية ، خاصية التنبؤ . فلنعد مرة أخرى إلى هيكل مادي مغلق نعيده بواسطة عمليات متعددة إلى حالته الأولى قصد النظر في ما يحدث فيه . من الجائز ألا تتسبب دائما العمليات التي نقوم بها في نتائج ثابتة بل قد تتغير كل مرة . فالطبيعة حينئذ لم تبق خاضعة لحتمية مطلقة صحيحة بل نجد أنفسنا عوضا عن النظام الديمقريطي ، أمام نظام ناجم عن العملية الآتية التي تتلخص في أننا نقوم بحفظ النتيجة التي تفضي إليها كل تجربة وبعد قيامنا بعدد عديد من التجارب المماثلة نقوم بتعداد احصائي للنتائج حتى نتعرف على عدد النتائج المختلفة وعما يحدث في كل منها . ونحن لا محالة لن نتمكن بتلك الطريقة ، من وضع قانون ولكننا على كل حال سنضع له حجر الأساس . ثم لنقم مرة

أخرى بعدد مماثل من العمليات المكررة فستكون النتيجة التي سنتوصل إليها احصائية هي أيضا كسابقتها . فإذا ما اتضح لنا أن الاحصائيات الأولى والثانية والثالثة والاحصائيات العديدة التي تليها تتوافق ، أمكن أن نقول بأن نظاما احصائيا يحكم الطبيعة . ولا شك أن الاحصائيات قد لا تتوافق بل أن كلا منها قد يؤدي إلى نتيجة مختلفة ففي تلك الحالة تكون الطبيعة غير خاضعة لأي نظام . أما إذا أفضت تلك الاحصائيات إلى نتائج متطابقة إثر كل سلسلة من سلاسل العمليات فإن ذلك يعني وجود نظام معين يسمح لنا بالقيام بتنبؤات ما عما يمكن أن يحدث في ظروف ما وعلى ذلك الأساس نستطيع التنبؤ بأن هيكلا ما سيؤول إلى هذه الحالة أو تلك بعد أن كان في هذا الوضع أو ذاك مع أننا لا ندلي في ذلك إلا بتشخيص لاحتمال سنعبر عليه كما يلي : إذا ما أعيد هيكل ما ألف مرة إلى نفس الحالة فسنلاحظ ظهور هذا الحدث كذا مرة وذاك الحدث كذا مرة مختلفة وهذا تنبؤ مضبوط حسابيا يمكن اثبات صحته بالتجربة .

فإذا كان مثل هذا النظام الاحصائي يستوفي هيئة الطبيعة فإن المبدأ القائل بأن نفس الحالات المتتالية تنتج دائما عن نفس الحالة الأولى يترك مكانه للمبدأ العام التالي : « يمكن أن ينتج عن الحالة الأولى للهيكل عدة أحداث إلا أن الأحداث المرتبطة بنفس تلك الحالة تدخل دائما في نفس النظام الاحصائي » .

وبذلك يصبح من الجائز وجود نوعين من النظام في الطبيعة : نظام يعني حتمية مطلقة وآخر يعني حتمية احصائية ولا شيء غير التجربة يمكننا من معرفة أي النظامين يحكم الطبيعة فعلا . فلا بد إذن من القيام بتجارب عملية وتتبعها بالمراقبة في الأثناء ومما لا شك فيه أن تلك الطريقة ليست هي التي أدت بديمقريط إلى وضع فكرته الأساسية القائلة بأن لا شيء في الوجود

يحدث عرضا ولكنه انتهى بملاحظة التجارب اليومية فقط ، إلى أن الشيء يحدث كلما كانت الظروف متطابقة ولم يتمكن ديمقريط من اعطاء برهان علمي فعلي على ذلك لأن وسائل القيس الضرورية كانت تعوزه . وسوف يحصل ذلك ألفي سنة بعده مع غاليلي . فقد أثبت هذا الأخير أن سير التجربة أثناء سقوط جسم ما أو عند اهتزاز نواس يتكرر متطابقا عند إعادة التجربة مع مراعاة نفس الظروف . ولقد تم التأكد من صحة ذلك المبدأ بالنظر إلى كل التجارب التي أجريت على الأجسام في أحجامها المرئية بالعين وبالأحرى كل الأجسام التي تدخل في ميدان الفيزياء الكلاسيكية . ولقد مرت حقبة كاملة من الزمن اعتبرت فيها الحتمية مبدأ بديهيا لم يطعن في صحته أحد . إلى أن جاء يوم كان لا بد من الاعتراف فيه بأن ذلك المبدأ لا يصح إلا في الميدان المرئي دون الميدان المجهري فكانت المفاجأة الكبرى وما رافقها من معارك ضارية إثر التقدم الحاصل في الميكانيكا انطلاقا من سنة 1926 وهي مفاجأة مازالت إلى يومنا هذا تدخل الشك في عقول كثير من الفلاسفة والفيزيائيين . ذلك لأنه من الصعب في أغلب الأحيان التخلي عن معتقدات لم يطعن في صحتها طيلة قرون أو فكرة كان المنطق لجانبها وهي أن الطبيعة تسير وفق سببية ضيقة . وهذا كان صحيحا بالنسبة للميدان المرئي عيانا ولكن من الخطأ الاعتقاد بأن تلك الفكرة ستكون صحيحة بالضرورة بالنسبة للميدان المجهري أي بالنسبة للقسيمات العنصرية . فهي فعلا غير صالحة في ذلك الميدان ولا مبرر لأن يؤاخذ المساندون لها عن خروجهم عن الاجماع .

فسنعود في فرصة لاحقة إلى مسألة السببية وإنما أردنا ها هنا بكل بساطة أن نبرز أن الحل الذي تقترحه النظرية الكمية لا يمثل البتة تحديا لافهام من يتمتعون بكل مداركهم العقلية بل أن التفاتة إلى الوراء في الفيزياء الكلاسيكية كفيلة بأن ترينا أن الحل المذكور آنفا هو في صلبها .

الفكرة الذرية :

إن ثاني الفتوحات الذهنية لديمقريط يتمثل في ادخال فكرة الذرية في التصور المادي للكون . « لا شيء يوجد غير الذرة والفراغ وكل ما عداها حديث هامشي » . وبهذا يحل ديمقريط محل الاتصال الظاهري للمادة انفصالية تتمثل في احتواء المادة على عناصر أصغر حجما لا يمكن تجزئتها وهي عناصر تشكل صيغ التئامها سببا لكل ما يحدث في الكون .

كيف توصل ديمقريط إلى ذلك الافتراض ؟ فهو لم ينته إلى افتراضه ذلك كنتيجة لتجارب مهما كان نوعها لأن الميدان المهيأ أكثر من غيره لأن تخصب فيه الفكرة ـــ أي الكيمياء ـــ كان في عهد ديمقريط مجهولا جهلا تاما. فديمقريط لم يعتمد إلا على التفكير النظري وكان ككل فلاسفة عصره يبحث عن ركيزة متينة ثابتة قادرة على أن تقف وسط التغير الخالد للظواهر فتمكن من فهم كل ما يعترض الملاحظة ، وافتراض الذرة كان يبدو له أجدى حل وأبسطه في نفس الوقت . إذ يتمكن الباحث من تركيب كل الأشياء مجددا انطلاقا من الذرات ومن استنتاج كل الأحداث من تلاحم تلك الذرات أو انفصالها . أما عن القسيمات نفسها فقد كان ديمقريط يفترض أن لها دون أي شك أحجاما معينة في منتهى الصغر دون أن يمس ذلك من سلامتها . على أنه يرى أن الخاصية الأساسية في الذرة هي أنها عنصر أولي ينتفي معه وجود أية خاصية داخلية فيه . وعلى ذلك الأساس إذا كان للذرة طبيعة داخلية فإنها حينئذ لن تمكث الجوهر الفرد الذي لا يمكن أن يوجد بعده ما يمكن سبره وتحليله بل ان الذرة ستخفي عندئذ عوامل جديدة تتطلب منا أن نتصورها . فيخطىء التصور الديمقريطي عندئذ الهدف الذي أقيم من أجله ولن تمثل الذرة شيئا يمكن من فهم تكوين العالم بل يصبح من

الضروري الغوص إلى أبعد من ذلك دون أن نكون واثقين من الوصول ــ في حدود تلك الأعماق البعيدة ــ إلى شيء يشبه الركيزة الصلبة التي يمكن أن نعتمد عليها لبناء فكرة أخرى .

القسيمات العنصرية كما نراها الآن :

إن الذرة التي نعرفها اليوم ــ وهي قسيمة عنصرية ــ تطابق تماما الصورة التي كان قد رسمها لها ديمقريط من حيث أنها غير قابلة للتفكك ولا تخالفها إلا في وجه واحد : هو أنها غير قارة بل تستطيع التحول إلى قسيمة أخرى أو الذوبان في شكل اشعاع . وهذا ما يضاعف من البعد الذهني الذي يفصلنا عن ديمقريط . على أن المدهش هو أن رد الفعل الرافض للعلوم الطبيعية ــ وقد انطلق من أثينا بالذات ــ تمكن من اجهاض فكرة الذرة إلى درجة أن النسيان قد غمرها حتى بداية العصور الحديثة وهذا راجع في المرتبة الأولى إلى أرسطو وغيرته فهو لم يأخذ عند بنائه لنظامه الغائي التجسيمي لا بفكرة الضرورة الطبيعية ولا بفكرة الهيكلة الذرية للكون بل كان يعنّف ديمقريط كلما سنحت له الفرصة . ولقد مكنه فكره الثاقب من أن يكتشف بسرعة ضعفا ظاهريا في النظرية الذرية ، قد تمكنت النظرية العصرية للمعرفة من تجاوزه في ما بعد . فديمقريط قد أضفى على الذرة حجما حتى يتمكن من بناء أجسام لها الأبعاد المعروفة . وما دام للذرة حجم لماذا لا يمكن تقسيمها إلى ما هو أصغر ؟ إذ يجب على كل شيء ذي حجم أن يكون محتويا على أجزاء أصغر حجما تحتل هي بدورها مكانا في الفضاء . وهذا ما جعل ذرة ديمقريط تعاني تضاربا داخليا جعل واقعها مستحيلا ويبدو أن نفس التضارب متعلق بالقسيمات العنصرية في عصرنا هذا إذ من الواجب أن نفترض أنها لا تستطيع أن تكون نقطية أي بدون حجم

بما أننا نبين أنها ستضطر في ما بعد إلى بلوغ كتلة ضخمة لا متناهية . وهكذا يبدو أن خاصيتين متلازمتين هما صفة البعد وعدم قابلية الانقسام تتضاربان . فكيف يجب أن يكون موقفنا إزاء ذلك التضارب ؟

مبدأ للمعرفة النظرية :

لو لم يكن ذلك التضارب عقبة يمكن تجاوزها لوضع نظرية الذرة في موقف حرج . فتخطي ذلك الحاجز أمر ممكن ولكن من العويص جدا إزالة الخطأ الكامن وراءه أساسا فهو خطأ ناجم عن تصورنا أن كل شيء مهما كان صغيرا فلا بد له من بعد . وهذه فكرة مقبولة طبعا عند تسليطها على الأجسام المرئية عيانا إلا أنها غير مقبولة بالنسبة للقسيمات العنصرية . ولا بد لنا لفهم ذلك من الاستنجاد بمبدأ معرفة نظرية سنعود إليه في ما بعد وهو مبدأ يلعب دورا كبيرا في الفيزياء الحديثة . فلا بد من أن تكون المفاهيم التي تستعملها الفيزياء مضبوطة بوضوح حتى لا يخامر المحقق لمقولة ما أي شك في مدلول تلك المقولة . فإذا كان المفهوم على سبيل المثال يرجعنا إلى عنصر يمكن تقديره كميا لا بد أن يكون تحديده محتويا على ار شادات دقيقة حول طرق تقديره . ومعنى ذلك أن العالم النظري يجب أن يمكن العالم المجرب من فهم مقولاته وإلا فإن هذا الأخير لن يستطيع التأكد من صحتها بالتجربة .

لنطبق الفكرة السابقة على هذه المقولة : « القسيمة العنصرية لها بعد ما » فلا بد لنا — حتى نعطي هذه المقولة مدلولا فيزيائيا — من وصف الطريقة التي من شأنها أن تضبط بعدها وتقيسه . ولنأخذ كمرجع الطريقة المستعملة في قيس أبعاد جسم كبير كالمنزل أو الطاولة مثلا . إننا لذلك الغرض نستعمل آلة قيس ومعنى ذلك أننا نستطيع أن نميز نقاطا في ذلك

الجسم يمكن أن نطبق بينها آلة القيس . لكن القسيمة العنصرية في جوهرها لا هيكل لها ، وهي لا تبرز لنا أجزاء فلا يمكننا التعرف على نقطة ما فيها ثم إنه من المستحيل تعيين النقاط تعيينا اصطناعيا في تلك القسيمة لأن القسيمة تتفاعل مع كل تدخل ككل موحد لا ينقسم . وهكذا تستعصي القسيمة العنصرية على كل محاولة قيس ومعنى ذلك أن مفهوم البعد أو الشكل الهندسي أيضا يفقدان هنا كل معنى بما أنهما لا يسمحان بتعريف يحيلنا إلى قيس ما . وبعبارة أخرى لا وجود للتضارب الذي لاحظه أرسطو بين خاصية البعد وخاصية عدم الانقسام لأن القسيمة العنصرية تنفي كل تطبيق متزامن لهذين المفهومين .

لقد عرضنا رسم الخطوط الأولى لتأملات نرجو أن تبرز معانيها واضحة للقارىء في الصفحات القادمة واقتصرنا على اظهار تصور كان دوره أساسيا في ظهور الفيزياء الكمية وهو تصور يكمن في أن المفاهيم المضبوطة المعاني بالنسبة للأجسام الكبيرة الحجم ــ أي في نطاق الفيزياء الكلاسيكية ــ نظرا لارتكاز تلك المعاني على القيس ، لا يمكن تطبيقها في ميدان القسيمات العنصرية نظرا لأن هذه الأخيرة تنفلت عن وسائل القيس المعهودة . ويكتسي مثل هذين المفهومين المتعلقين بفيزياء الأجسام الكبيرة أهمية خاصة نظرا لأنه لا يمكن تطبيق كليهما معا على القسيمات العنصرية متزامنين لا فحسب تطبيقهما على انفراد وهذا ما ستترتب عنه ــ كما سنرى ــ علاقات الشك الأساسية التي سنتحدث عنها في مكان آخر .

أرسطـــو :

M -لا وجود لفقرة واحدة في آثار أرسطو يمكن أن تنال اعجاب عالم متخصص في علوم الطبيعة فبرفضه لنظرية الذرة ــ التي لو قبلت واستكملت

لكانت لها نتائج هامة في العصور القديمة ـ عطل أرسطو تقدم العلوم عشرين قرنا . ثم إنه قام بما هو شر من ذلك فقد حرك اتجاها عقليا يجهل كل مبادىء التفكير الفيزيائي وأثر ـ بما له من سلطة فكرية ـ تأثيرا مضرا في التطور الذي ستعرفه كل العلوم الطبيعية لا الفيزياء فقط . فأرسطو لم يكن يبحث في الطبيعة عن الأسباب بل كان دائما يبحث فيها عن الغايات فقد كان يعرض فكرة غائية ساذجة سذاجة لا تكاد تصدق فيأمر الطبيعة من خلالها بأن تقوم بالحركات التي كان يجب أن تقوم بها فتوصل إلى نتيجة أن الحركة « الكاملة » ـ والطبيعية إذن ـ التي يتبعها الجسم من تلقاء نفسه لا يمكن أن تكون إلّا دائرية وهو زعم لا يرتكز لشيء ولا يمكن تأكيده بالبرهان ولم يجرؤ كوبرنيك ـ لسوء حظه ـ على تحديده . فلقد كان كوبرنيك يأمل تبسيط الصورة التي رسمها بطليموس فافترض أن الأرض تدور حول الشمس ولكن عقبته الخيبة . ففي حين أنه كان حسب منطق ارسطو يفترض أنه من المسلم وجود الحركة الدائرية ذات السرعة المنتظمة وفي مدار معين ، فلا ما كان ينتظر ولا الحساب ولا الملاحظة كانت تتوافق فأرغم على اللجوء إلى استعمال طريقة أفلاك التدوير التي اخترعها بطليموس والتي اعتقد كوبرنيك بادىء الأمر أنه بإمكانه تحاشيها . فلقد مكنت هذه الطريقة صاحبها ـ وهي حيلة عبقرية ـ من التوفيق بين الحركات غير المنتظمة التي كانت توحي بها ملاحظة الشمس والكواكب في السماء وبين نظرية أرسطو بخصوص الحركة الدائرية « الطبيعية » . ويمكن القول بأن براعة كوبرنيك في النظام الذي قام ببنائه تتلخص في التصور التالي : « تسير الكواكب بسرعة ثابتة في مدار هو دائرة صغيرة يتحرك مركزها حول الشمس على محيط دائرة كبيرة » وبذلك يستطيع كوبرنيك العودة إلى فكرة الحركة غير المنتظمة للكواكب بالجمع بين حركتين دائريتين غير منتظمتين فإذا لم

يحصل التوافق بين الحركتين والقياسات وقع اللجوء إلى استعمال حركة دائرية ثالثة أو رابعة حسب المقتضى .

وهكذا يقع « كوبرنيك » من جديد فيما وقع فيه بطليموس مع فارق وحيد هو أن الكواكب في نظر هذا الأخير تدور حول الأرض في حين أنها حسب كوبرنيك تدور حول الشمس . ولقد أدى هذا التحول إلى شيء من التبسيط إذ أمكن الاكتفاء بأربع وثلاثين دائرة فقط لتفسير الظواهر المشاهدة في حين أن بطليموس كان يستعمل لنفس الغرض ثمانين دائرة صغيرة . ومعنى ذلك أن نظام كوبرنيك ــ رغم أنه أبسط بكثير من نظام بطليموس ــ لا يزال كثير التشعب . أضف إلى ذلك أن كل تبسيط مهما كان ضئيلا ــ كان يستوجب قلبا كاملا للتصور السائد للكون في ذلك العهد وكانت تعترض سبيله قناعات راسخة هي ــ فوق ذلك ــ مرتبطة بالمعتقدات الدينية فليس من الغريب إذن ألا يؤثر مذهب كوبرنيك إلا قليلا في معاصريه وأن يعارضه الكثيرون .

وأرسطو يتحمل المسؤولية في إقامة الخرافة القائلة بأن الأجرام السماوية لا تستطيع التحرك إلا في دوائر إلى منزلة العقيدة . « وكبلار » يعد أول من تخلص من الاعتقادات المسبقة فتحرر من تلك البدعة وافترض وجود مدارات اهليلجية تجعل اللجوء إلى أفلاك التدوير حسب نظرية « كوبرنيك » أمرا لا فائدة فيه فانتهى بذلك عصر الثقة العمياء في أرسطو ، تلك الثقة التي حالت دون تحرر الانسانية طيلة ألفي سنة وبزغ فجر العصور الحديثة فكف الناس عن البحث عن الحقيقة من خلال كتب أرسطو وتوجهوا إلى البحث عنها في الطبيعة نفسها .

غاليلي ونيوتن أو القطيعة مع المتداول :

ليست غايتنا في هذه الفقرة ، القيام بتركيب تاريخي معاد لتطور الفيزياء عبر الزمن وإنما غايتنا أن نبين فقط أن ما يبدو في الميكانيكا الكمية عنصرا جديدا مميزا ليس في الواقع بالجديد الجديد وأن بعض فترات التطور في الفيزياء الكلاسيكية كانت تنبىء به أو ببوادره على الأقل . لنأخذ مثلا التجريد الذي كثيرا ما يعاب على الفيزياء المعاصرة . هل هو يشكل تجديدا كما قد يقال أحيانا ؟ إن من السهل الدلالة على أن الفيزياء اضطرت منذ البداية إلى اللجوء إلى تعاريف ليست في متناول أفهام العامة فكانت تجد بذلك وسيلة لتوثيق علاقات عددية بين بعض المقادير المقيسة أو بعبارة أخرى ، لوضع قوانين طبيعية . وذلك ما قام به غاليلي (1564ـــ1642) ونيوتن (1643ـــ1727) .

فغاليلي هو أول من بنى الفيزياء على أسس تجريبية ، لا على أسس تخمينية فكان متشبثا بهذا المبدأ : « إذا أردت أن تعرف أي شيء عن الطبيعة فلتثق بالتجربة وما تأتي به ولا تلتفت إلى الكتب القديمة التي أكل عليها الدهر وشرب » . وهكذا أظهرت التجارب لغاليلي أن الجسم إذا ما ترك لوحده ولم تتسلط عليه أية قوة خارجية لا يتحرك حركة دائرية . فهو إما يستقر ساكنا أو يتحرك في مسار مستقيم بسرعة قارة لا تتغير . وسيحوصل نيوتن تلك الفكرة الحاسمة في الميكانيكا في بديهيته الأولى الشهيرة ولا أحد ينتبه الآن إلى تلك الصيغة لفرط ما أصبحت معهودة لديه فهي لم تعد تشكل مشكلا بل إنها لتبدو طبيعية جدا . وفي الحقيقة ، ليس مفروغا منه ألا يحتاج حفظ السرعة إلى أية قوة كما تعبر عن ذلك بديهية نيوتن فقد نضطر دائما إلى التدخل حتى لا تتلاشى السرعة ، إذ في إمكاننا أن نلاحظ توقف كرة تتدحرج على أرض مستوية وذلك بعد فترة زمنية إذا لم نقم بدفعها من

جديد . إلا أن تلاشي السرعة ناجم عن فروق في مستوى الأرض تعطل الحركة فيمكننا أن نسلم أن أرضا مستوية أدق الاستواء لن تغيّر سرعة الكرة .

نتيجة لذلك يبدو أن تسليط قوة ما على جسم ما ليس نتيجته منح ذلك الجسم سرعة ما بل تتمثل النتيجة في **إحداث تغيير في تلك السرعة** ولقد سمي ذلك التغيير في السرعة من عهد غاليلي بالتسارع وهو مفهوم يحمل في الفيزياء معنى أوسع مما تعنيه في لغة التخاطب العامة إذ أن العامة لا ترى في التسارع إلا الزيادة في السرعة في حين أن التسارع في الميكانيكا يعني أيضا التخفيض في السرعة أو تغيير الاتجاه . وبذلك تعتبر الحركة الدائرية ذات السرعة القارة حركة « مسرّعة » لأن اتجاه السرعة يتغير فيها باستمرار .

مفهوم القوة :

« إذا ما أردنا إحداث تسريع ما لا بد لنا من تسليط قوة ما » : تلك هي البديهية الثانية التي وضعها نيوتن فأعطت مفهوم القوة معنى جديدا يتلاءم ومتطلبات الميكانيكا وأدخلت في تطور الفيزياء عملية قادت إلى تجريد المفاهيم أكثر فأكثر . فما معنى القوة ؟ إذا واجهت بهذا السؤال شخصا لا يعرف الفيزياء أجابك جواب العجائز أو كما يقال : على طريقة القديس اغسطينوس عندما سئل عن معنى الزمن . فالانسان العادي يعرف ما هي القوة ما لم يسأل عنها فإذا سئل جهل وكان كل ما يستطيع قوله هو أن الاحساس بالقوة مرتبط بالجهد المادي المبذول . لكن الفيزيائي ، وإن حصل على تلك الاجابة ، لا يرى أية فائدة في تفسير يخلو من التقادير الكمية . ولقد سبق أن سنحت لنا الفرصة فقلنا إن كل مفهوم نستعمله في صيغة فيزيائية ما يجب أن يحدد تحديدا واضحا حتى لا يقع أي التباس في معناه وأن تحديد ذلك المفهوم إذا ما أحالنا إلى مقدار ما يجب أن يدلنا على طريقة القيس

فكيف نعرف عندئذ لفظ القوة تعريفا يتلاءم والضرورة المبينة آنفا ؟ فلا علاقة لذلك اللفظ بأي تصور لا يمكن أن ينجر إلا من التجربة الحسية ولا يسمح إذن بالقيام بقياسات . وعندئذ يجب أن نتساءل : كيف يمكن قيس قوة ما؟ فهي ــ كقوة ــ غير قابلة للقيس مباشرة إلا أن تأثيراتها قابلة لذلك فهي ــ كما سنرى لاحقا ــ تكمن في أن تغير حركة جسم ما ناتج عن فعل القوة مع ملاحظة أن التسريع الحاصل يكون أقوى كلما كانت كتلة الجسم أصغر . وهكذا ليس أمام الفيزيائي إلا التحديد الآتي للقوة : « هي ضارب الكتلة في التسريع ». هذا ما يمكن التعبير عنه بصفة أدق على النحو التالي : « إذا أردنا تحديد قدرة قوة معينة ، سلطناها على جسم معروف الكتلة فيكتسب الجسم تسريعا ويعطينا ضارب تلك الكتلة في هذا التسريع قيمة القوة المجهولة » .

إن ذلك التفسير للقوة يمكننا من الغاء كل التصورات شبه العلمية الناجمة عن الغريزة أو الحس واستبدالها بمفاهيم مبنية على نتائج مقيسة . ولا شك أنه كان من الممكن ادخال كلمة جديدة يغطي معناها المفهوم الجديد للقوة إلا أن التشبث باللفظة القديمة كان مستحبا . فالقوة ــ كما حددت من جديد ــ تبقى مطابقة لما كانت تطلق عليه ولم تكن تحتاج فيه إلا إلى تعريف . ولقد كان لعبارة « الطاقة » نفس المصير فالميكانيكا تبنتها وعرفتها تعريفا جديدا . إلا أن الأمر يختلف بالنسبة لمفاهيم أخرى تحتاج إليها الفيزياء في التعبير عن القوانين الطبيعية نذكر منها مفهوم الدفع الذي احتاج إليه نيوتن في وصف سطح كتلة الجسم في سرعته . إذ أن اللغة اليومية لم تكن تفي بالحاجة فاضطر الفيزيائي إلى استعمال كلمات جديدة وأعطاها معاني معينة وكلما تقدمت الفيزياء ازدادت حاجتها إلى استعمال لغة خاصة تمكنها من التعبير عن مفاهيم جديدة بطريقة واضحة لا يشوبها أي التباس .

التجريد في الفيزياء :

لا شك أن هذه الظاهرة قد عرفتها شعب علمية أخرى إلا أن الفيزياء نظرا لمحتواها وما يستوجبه من انشاء لغة خاصة ، مجبرة على المضي قدما في الرفع من درجة التجريد في المفاهيم التي تتعرض لها . وكثيرا ما يحتج بعضهم بأن الفيزياء الكلاسيكية قد قامت دون أن تحتاج إلى ذلك التجريد وبأن الميكانيكا الكمية هي الأولى التي اكتشفت في التجريد طريقة ملائمة لاخفاء قصورها عن تفسير الأشياء تفسيرا تستسيغه الأذهان . وفي الواقع ، ما أن ظهرت الفيزياء كعلم حقيقي حتى عجزت عن تحقيق أهدافه دون أو تلجأ إلى استعمال مفاهيم مجردة .

فما هي أهداف الفيزياء ؟ من أهدافها ، أولا وقبل كل شيء ، وضع قوانين تمكنها من تحديد ما ستكون عليه حالة الطبيعة مستقبلا ، انطلاقا من حالتها الراهنة . فكان لا بد لتلك القوانين من أن يعترف بها جميع الناس وحينئذ كان لا بد من أن تكون لها دلالات يمكن نقلها من شخص إلى آخر دون التعرض إلى أي خلط فيها . وهكذا اضطرت الفيزياء من خطواتها الأولى إلى أن تترك جانبا عناصر العالم الظاهري المعاش مباشرة وهي عناصر — رغم أنها محسوسة — يصعب نقلها بين الناس ونذكر منها الاحساس بالألوان وبالرائحة والذوق . فلا أحد يستطيع وصف إحساس آخر غير الذي يحس به عند رؤيته لشيء أحمر ولا أحد يستطيع مقارنة احساسه بإحساس شخص آخر ينظر إلى نفس الشيء الأحمر . ففي عالم الظواهر أجزاء متممة قد لا يتفق في فهمها كل الناس ولا يمكن حينئذ أن تكون موضوع قوانين طبيعية فينتج عما تقدم أن الفيزيائي — عند محاولته التعبير عن القوانين — لا بد له من القيام بادىء ذي بدء بعملية تجريد لعالم الظواهر الذي يعيش فيه ،

فيخضعه لمرتبة تجريدية يصبح بها نقله إلى الآخرين ممكنا . إلا أن ما يمكن تبليغه يشمل كل ما هو قابل للقيس أي كل ما يمكن التعبير عنه بلغة الأرقام. ومعنى ذلك أن القوانين الطبيعية يجب أن تحيلنا دائما إلى « أعمدة » وهياكل يمكن وصفها بلغة الرياضيات أي لغة العدد أو الهندسة وأن تترك جانبا كل العناصر التي لا يمكن تبليغها للناس أي تلك التي تأبى البروز . وسوف نسمي تلك الأعمدة هياكل عالم الظواهر ونحن نقصد من ورائها أيضا أن القوانين الفيزيائية تعبير خالص من تلك الهياكل ، فالقاعدة الهيكلية المنبثقة عن عالم الظواهر تشكل موضوع البحث في الفيزياء وهي التي نعنيها بميدان الفيزياء .

وينتج عما تقدم أن الفيزياء لا يمكن أن ترتكز إلا على المجردات **لأن التجريد ملتصق ضمنيا بطبيعة الموضوع في الفيزياء** . وإذا ما اعتبرنا ــ بالرغم من كل ذلك وفي أغلب الأحيان ــ أن الفيزياء الكلاسيكية علم ملموس فذلك لأن مفاهيمها أصبحت معهودة لدينا إلى درجة أننا لم نعد نلاحظ الصفة التجريدية فيها . وعلى العكس من ذلك ، يبرز لنا الجانب التجريدي في مفاهيم الفيزياء الحديثة لأن تلك المفاهيم جديدة تتعلق بتجارب تخص عالم القسيمات العنصرية وهو عالم لا يمكن تناول أسسه الهيكلية بالمفاهيم المعهودة في الفيزياء الكلاسيكية . لذلك كان من الواجب ادخال مفاهيم جديدة خالية من كل معنى ملموس.على أن الفرصة ستتاح لنا فنعود إلى هذا الموضوع ثانية .

قانون الجاذبية العامة :

لقد قاد الحدس نيوتن ــ وهو ما يزال طالبا ــ إلى أن قوة الجاذبية المسلطة على التفاحة أثناء سقوطها نحو الأرض يجب أن تكون لها علاقة

بالقوة التي تمسك القمر في مداره فربط تينك القوتين بالجاذبية التي تسلطها الأرض على كل الأجسام والتي تنتقص قوتها بتزايد المسافة الفاصلة بين الجسمين المتجاذبين وقارن بين القوة المسلطة على القمر والقوة المسلطة على التفاحة حتى تأكد من صحة افتراضه وهكذا انتهى إلى قانون الجاذبية العامة الشهير الذي يفيد أن كل الأجسام تتجاذب تجاذبا يزداد بتزايد كتلها وينتقص بتزايد مربع المسافة الفاصلة بينها . ثم إن نيوتن انتظر عشرين سنة قبل أن يعلن للعموم عن اكتشافه لانه لم يكن متأكدا من صحته . إذ كانت حساباته تتفق بصفة تكاد تكون مرضية إلا أنها لم تمكنه من إزاحة كل الشكوك التي كانت تساوره حول صحة ذلك القانون . لذلك تمكنت منه الخيبة فأهمل تلك الحسابات ولم يعد إليها إلا مؤخرا بعد أن أجرى عليها بعض التعديلات فوجد التطابق كاملا هذه المرة في نتائج القياسات التي قام بها .

إن مفهوم الجاذبية قد أدخل كوكبنا لأول مرة في بوتقة الفلك كله وفي الآن نفسه أوثقه في سلسلة قوى تربط بين كل الأجرام السماوية . ولا يستطيع الانسان المعاصر أن يشعر شعورا عميقا بعظمة تلك الفكرة لفرط ما أثقل كاهله بالاكتشافات العديدة على أن الفكرة في ذلك العصر قد أحدثت ضجة كبرى ولم يبق إلا سؤال واحد معلقا : هل كان من الممكن استخلاص قوانين « كبلار » من قانون الجاذبية وهي قوانين تضبط حركة الكواكب اكتشفها صاحبها نصف قرن قبل ذلك ؟ فإذا كان ذلك القانون صحيحا فإنه يجب أن يمكننا من كل الارشادات المتعلقة بالحركات التي يمكن ملاحظتها في السماء . إن ذلك يمثل عملا يتطلب وسائل رياضية بحتة تعتمد البديهيات التي وضعها نيوتن بشرط اكتساب التقنية الرياضية المناسبة ولكن نيوتن كان قد مهّد بعد الطريق باختراعه حساب التفاضل .

فكانت الفرصة ممتازة لابراز الخاصية الاستكشافية لتلك الطريقة . وكان النجاح حليف تلك الحسابات ونتج عن ذلك امكانية تفسير قوانين كبلار الثلاثة باعتماد قانون الجاذبية فقط ، فكبلار كان يقول بأن ليس لأي كوكب إلا السير في مدار إهليلجي حول الشمس وعندئذ يكون مربع مدة الدورة اليومية مناسبًا لمكعب المحور الأكبر للمدار . ولقد استطاع نيوتن عندئذ أن يبين أن تلك القوانين تبقى صالحة أيضا عندما يتجاذب جسمان على خط المستقيم الجامع بينهما وعندما تكون قدرة قوة الجاذبية متناسبة للمسافة الفاصلة بينهما .

معنى الشرح في الفيزياء :

حتى هذا الحد يبدو أن مشكلا كبيرا قد تم حله . إلا أن الشكوك ظهرت من جديد فهل أن قانون الجاذبية يعرض علينا « ادراكا » واقعيا لحركة الكواكب أم أنه لا بد من المضي قدما وطرح السؤال الآتي : لماذا تتنافر الاجرام السماوية وفق قانون نيوتن ؟ ومن هنا كان دخول اللفظين : « شرح » و « إدراك » إلى ميدان الفيزياء . فأدى الأمر الى أعقم المناقشات ومازال الناس لحد الآن يهتمون بالمسألة عن خطأ وعن صواب إذ عيب على الميكانيكا الكمية باستمرار عجزها عن تمكيننا من فهم الأشياء فهما واقعيا . فهل لذلك اللوم مبرر ؟

قد يتبادر إلى الذهن أن الشروح التي تعرضها الميكانيكا الكمية لا ترضي إلا قليلا فإذا سألنا أحدهم كيف أن قسيمة عنصرية كالالكترون مثلا تظهر تارة طابعها الجسيمي وطورا طابعها التموجي أحلناه إلى قانون أقحمت في وضعه رموز رياضية متميزة . إذ أن الرياضيات المألوفة التي كانت في البداية تفي بحاجة الفيزياء لم تعد تسمح لنا بالالمام بكل الأحداث الخاصة التي

أصبح ميدان القسيمات المجهري مسرحا لها . إلا أن مثل هذا الجواب لا يشفي غليل سائلنا ذلك أنه ليس عالم رياضيات وهو يريد أن تفسر له الطبيعة المزدوجة للالكترون فتأخذه الدهشة عندما يتفطن إلى استحالة حصوله على ذلك التفسير . لأن الأمر متعلق بأشياء تعجز اللغة المتداولة عن التعبير عنها . فهل من الغريب بعد ذلك أن يخيب أمله في الفيزياء الحديثة ؟

إلا أن تلك الخيبة قد تكون بلا مبرر إذا ما تأملنا في الطريقة التي اعتمدتها الفيزياء الكلاسيكية في وضع شروحها . إذ سيبدو واضحا أن الشروح في الفيزياء لم تكن إلا إحالة مستمرة إلى قوانين فيزيائية . فالفيزياء علم تجريبي بحت وإذا ما طرح السؤال : لماذا كان على هذه الشاكلة أو تلك فإن أقصى ما تستطيع أن تجيب به أن ذلك هو ما يقتضيه فعلا قانون طبيعي . لنفترض أننا نريد أن نعرف لماذا تسقط الحجرة على الأرض فإن الجواب ها هنا هو وجود جاذبية بين الحجرة والأرض وأن قانون نيوتن يحكم تلك الجاذبية فليس من المفيد البتة أن نتساءل عن كيفية تحقيق تلك الجاذبية . ثم إن قوانين الطبيعة هي بدورها غير قابلة للشرح . إلا إذا ما أرجعت إلى قانون أكثر شمولا ، كما هو الحال بالنسبة لقوانين كبلار حينما ردّت إلى قانون الجاذبية بحيث يمكن القول أن هذا القانون يشرح قوانين كبلار . إلا أن ارجاع بعض القوانين إلى قانون أعم عملية محدودة فإذا ما وصلنا إلى ذلك الحد انتهينا إلى حدود الشرح . فمن حيث مدلول « الفهم » ينتج عما تقدم أنه بإمكاننا الجزم بأننا أدركنا ظاهرة ما عندما نصبح قادرين على البرهنة بأنها تسير طبق قانون طبيعي معروف ومحدد . وليس هنالك طريقة أخرى لفهم الطبيعة . وعلى وجه التحديد ، إنه من الخطأ أن نقول إننا قد فهمنا ظاهرة ما لمجرد تصورنا أنها « عملية حتمية واضحة ملموسة » ، ونقل الحركة من جسم إلى آخر يشكل في هذا المجال خير مثال . فما الذي

يحدث عندما تمس كرة البليار مثيلتها ؟ ألا تتحرك هي بدورها ؟ إن هذه الظاهرة تبدو سهلة الفهم مباشرة دون أن نحتاج إلى الاستنجاد بقانون طبيعي في حين أنه في الواقع لا وجود لمبرر منطقي يجعل الاصطدام يتسبب في تحريك كرة البليار بل قد يكون من الوارد ظاهريا أيضا أن تمكث تلك الكرة في مكانها ساكنة . إلا أن هذا الاحتمال يصبح مستحيلا نظرا لقانون طبيعي نابع من مبادىء الميكانيكا يحكم بانتشار الصدمة المرنة ولا شيء آخر غير ذلك القانون يمكننا من فهم تلك الظاهرة .

افتراضـــــات :

إن آثار الدفع أو الصدم تبدو بديهية من وجهة نظر بسيطة . لذلك أجهد الانسان نفسه في كل الأزمنة ليتصور أن كل ما يحدث في الطبيعة ناجم عن تضافر تلك القوى . ثم إن نيوتن نفسه أكد أن قانون الجاذبية مهما كان صحيحا من الوجهة الرياضية لم يكن مفهوما من الوجهة الفيزيائية.وكان يقول أيضا:إنه لم يفهم كيف أن جسما ما يسلط قوة جاذبية على جسم آخر بعيد عنه . فأعلن أن افتراض تأثير جسم على جسم آخر من بعيد افتراض عبث أساسا . واعتقد اعتقادا راسخا أن الجاذبية تحصل بواسطة مادة لطيفة ولكنها تملأ الفضاء . فأجهد نفسه دون طائل محاولا أن يفسر كيف يحصل ذلك وانتهى به التفكير إلى حسم تلك المشكلة العويصة بطرحه لافتراضه الشهير وإقامة منهجية أثبت ميزتها الكشفية التأثير الحاسم الذي تركته في تطور نظرية النسبية وفي تطور الميكانيكا الكمية.فلقد عبر فيها عن أن كل ما لا يمكن استنتاجه من ظاهرة ما ــ وحينئذ ما يفترض افتراضا ــ لا محل له في الفيزياء أبدا . وبذلك تتطابق هذه الرؤية مع البرنامج المحلل آنفا أي أن الفيزياء تتقيد تقيدا كاملا بما يحدث في الطبيعة أي بما هو مقيس وحينئذ يمكن التعبير عنه بلغة الأرقام أي ما سميناه ببنية كون الظواهر . وهذا البرنامج ينفي المزج

بين الواقع الملاحظ والعناصر المستخرجة من مجرد افتراضات . فبالنسبة للفيزيائي كل ما لا يلاحظ ولا يقاس غير موجود. وليس معنى ذلك أن الفيزيائي يجزم جزما قاطعا بعدم وجوده بل إنه بما أن ذلك لا يلوح في عالم الأحداث وبما أن الفيزياء لا همّ لها سوى هذا العالم فليس على الفيزيائي أن ينشغل بذلك .

وليس معنى ذلك أن الافتراضات عديمة الجدوى في الفيزياء . فالفيزيائي لا ينفك يضع الافتراضات أثناء عمله لكن دون أن يسمو بها إلى درجة القوانين . فكيف يتم اكتشافه لقانون ما ؟ إن عليه أن يقوم بقياسات تتعلق بمجال ظاهرة وأن يبحث عن العلاقات التي تربط بين تلك القياسات وهكذا تصبح تلك العلاقات قانونا يحكم ذلك المجال بعينه . وبعد أن يقوم الفيزيائي مئات المرات بالتجربة يلوح له أن قياساته تتوافق في هذه العلاقة أو تلك إلا أن الشك لا يزال يخامره فتمكث تلك العلاقة مجرد افتراض يجب التأكد من صحته بإجراء تجارب جديدة . فقد يظهر بطلانه وحينئذ لا بد من استبدال ذلك الافتراض بآخر جديد يكون أكثر ملاءمة للقياسات المتحصل عليها وهكذا دواليك حتى يتم اكتشاف القانون الطبيعي الذي سيمكن الفيزيائي من الحصول على نفس النتائج مهما تعددت التجارب .

ففي الفيزياء إذن افتراضات ، لا فحسب مقبولة بل لا يمكن أن تستغني عنها لأنها تقربها خطوة خطوة من الحقيقة . وانتقادات نيوتن التي سبق ذكرها لم تكن موجهة إلى هذا النوع من الافتراضات فهي لا تخلط بين الواقع والخيال بل لا تتجاوز الملاحظات وتحاول وضع علاقة بينها . فالافتراضات التي يرفضها نيوتن هي من نوع آخر : إنها تستعمل تصورات وتخمينات لا تمت إلى الملاحظة بصلة فهي من وضع الخيال وعلى سبيل

المثال نذكر أن نيوتن ـــ والجدير بالملاحظة أنه يعتبر نفسه فيلسوفا لا فيزيائيا ـــ قد افترض وجود وسط لطيف لا يرى يملأ الفضاء كله ويقوم بالربط بين جسمين من الأجسام حتى يتمكن كل منهما من التأثير في الآخر عبر هذا الوسط.وافترض ذلك ليشرح عمل الجاذبية وهو في شرحه ذلك كان يفكر تفكير الانسان العادي . إلا أنه كفيزيائي يرتكز تفكيره على التجربة دون سواها ، كان يرفض ذلك الافتراض رفضا باتا . فقد كان يرى أن الجاذبية ، في منطق الفيزياء ، لا تعدو أن تكون قانونا رياضيا كل ما قد يضاف إليه زيادة يصبح وخيما . وليست هذه هي المرة الوحيدة التي التجىء فيها إلى افتراض وجود وسيط لا يدرك بل إن النظرية الميكانيكية للضوء كانت تفترض وجود أثير تنتقل عبره الأمواج الضوئية إلى أن جاء « اينشتاين » فألغى هذا المفهوم من معجم الفيزياء على غرار ما فعله نيوتن بذلك الوسيط الذي لا يدرك ولا يرى .

ولو أننا أردنا إقامة الفيزياء على أساس افتراضات مما لا تقبل لما كانت علما ولأصبحت من الشعر . لنأخذ مثلا تأرجح النواس . فلو كنا أحرارا في وضع أي افتراض لاستطعنا ـــ دون أن نوصم بالخروج عن العلم ـــ أن نفسر ذلك التأرجح بوجود كائن روحاني يوجه النواس ويضربه ضربات متتالية منتظمة . لكن غاليلي لم يكترث بهذا الرأي فافترض أن تأرجح النواس ناجم عن الجاذبية فإذا كان ذلك الافتراض صحيحا فإن دوام التأرجح يجب أن يكون مرتبطا ارتباطا محددا بطول النواس وهذا ما أكدته القياسات وتلك هي طريق العلم .

إلا أن بعض المبادىء الجميلة لسوء الحظ قد يطويها النسيان ، والميكانيكا الكمية تقدم لنا مثلا لذلك . فقد أريد تعويض الصبغة التجريدية فيها أو على الأقل تخفيفها فأدخلت فيها مقادير لا تقبل الملاحظة سميت

« بالعوامل الخفية » وكان يؤمل منها التمكن من اقحام الظواهر التي تبحث فيها الميكانيكا الكمية ، في صلب الفيزياء الكلاسيكية وبذلك تسد الثغرة القائمة بين الميدان المرئي والميدان المجهري ولم تكن تلك النوايا الحسنة تثير مشكلا لا من حيث الغاية ولا من حيث المحتوى ولكنها كانت غير قابلة لتجسيم . إذ أن الظواهر الكمية لو كانت تدخل في اهتمامات الفيزياء الكلاسيكية لما كان هناك سبب لبقاء تلك العوامل خفية وبروزها كلغز من الألغاز . وفي الواقع إن إضافة تلك الأشياء الغريبة المزعومة كانت تشوه بنية الظواهر الكمية وهي بنية تتكون من كل ما هو قابل للملاحظة والقيس في الظاهرة الفيزيائية دون سواه .

التصور المادي للعالم في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر :

كان نيوتن رجلا عميق التدين يعتقد في وحدانية الله ولم يكن يرى أي تناقض بين عقيدته الدينية ومبادئه العلمية . فإذا ما قال بأن الطبيعة تسير وفق قوانين ثابتة لا تترك مجالا للخوارق فإنه كان يرى أيضا أن الطبيعة من عمل الخالق الذي خلقها وجسمها على تلك الصورة لغرض لا يدركه العقل البشري . غير أن الأجيال اللاحقة نظرت إلى أعمال نيوتن نظرة أخرى فربطت اكتشافاته بنهضة الفكرة الذرية التي أصبحت تحتل مكانة تزداد أهميتها في الكيمياء وبدأت تسحر الألباب في ميادين أخرى أيضا . ثم إن مقولة ديمقريط « لا شيء يوجد غير الذرة والفراغ وما عداهما خرافة وهذيان » رجعت إلى الحياة من جديد وأصبح لها من التأثير ما لم يتفطن إلى خطره . فالفكرة في حدّ ذاتها قد بين الاستعمال خصوبتها وأدت إلى أفكار ثمينة في ميدان الفيزياء إلا أنها جلبت معها أيضا تلك الفكرة الخرقاء القائلة بأن العقل نفسه لا يعدو أن يكون مادة تتحرك فإذا بالفكرة تستخدم

ركيزة لانطلاق فلسفة مادية سهلة الفهم غذت فلسفة أنصاف المثقفين طيلة قرنين . ولقد نبعت تلك الفلسفة من سوء فهم حسب أن مقولة ديمقريط « لا شيء إلا ذرات متحركة ولا شيء سواها » صحيحة في كل النقاط في حين أن صحتها مقصورة على العالم المادي فقط ولا تنسحب إلا بتحفظ على بعض الظواهر الروحية . فهذه الفكر والعواطف والأحاسيس والأفعال الارادية إلخ ... لا صلة لها بالذرة بل تشكل عالما قائما بذاته وهو أهم العوالم بالنسبة للانسان يتكون من عناصر تختلف تمام الاختلاف عن تلك التي يتركب منها العالم المادي وهذا ما أبت النظرة المادية تصوره . ولقد فتح ديمقريط المجال لهذا التصور المادي حين زعم أن الروح مكونة من ذرات خاصة رقيقة موحدة .

ولسنا هنا بصدد الحديث عن المادية كفلسفة . وإنما الذي يهمنا هو الدور الذي لعبته في ميدان الفيزياء وهو ميدان لا تستطيع أن تحدث فيه اضرارا فحتى عند اقرارنا بأن العالم الذي يهم الفيزيائي متركب من ذرات فإن ذلك قد بدا مفيدا في الخطوات الأولى على الأقل . إذ ظهر في ما بعد — في فترة سيادة الفيزياء الكلاسيكية — أن عالم الفيزيائي لا يتكون من الذرات فقط بل يحتوي أيضا على واقع آخر هو واقع الحقل الذي تضاهي أهميته أهمية الذرة فهو الذي يضع الذرات في موضع التفاعل . والحقول عديدة نذكر منها حقل قوة الجاذبية الذي لم يعتبر في البداية كحقل لأنهم كانوا يعتقدون وجود وسيط يعمل عن بعد بين الأجسام أثناء تجاذبها .

ولم يكن يعرف في ذلك الوقت أي شيء عن الحقول ولم تبق آنذاك إلا الذرات وحركاتها . وفي هذا المجال أيضا تصدر نيوتن الميدان فلقد كانت مبادئه تحكم حركات الذرة تبعا لقوى معطاة فنتج عن ذلك تصور للعالم واضح البساطة يمكن تلخيصه على النحو التالي : « تعود كل الظواهر

الفيزيائية لأسباب ميكانيكية لأنها قابلة لأن تؤول بواسطة حركات تحدث في مستوى الذرات التي تتركب منها الأجسام المعنية بالظاهرة المدروسة ». ذلك هو البرنامج الميكانيكي المادي الذي وضعه منذ القرن السابع عشر في حياة نيوتن علماء كان أقواهم حجة كريستيان هويغنس (1629ـ 1695) ولم يعارضه أحد حتى آخر القرن التاسع عشر فقد اكتشفت عندئذ ظواهر تتعارض بصفة واضحة مع التفسير الميكانيكي الخالص للأشياء ، فكان لا بد من إجراء تعديل على التصور الميكانيكي وذلك في نطاق الفيزياء الكلاسيكية . وسوف نتعرض إليه فيما بعد .

النظرية الميكانيكية للضوء :

كان هويغنس يجهل كل شيء عن تلك الظواهر المستعصية وكان يتقيد بالتجارب المعروفة التي كانت تسمح آنئذ باعتماد التفسير الميكانيكي دون أي استثناء وكان يحس بميل خاص نحو التجارب الضوئية فكانت كل التجارب التي قام بها في ذلك الميدان مهيأة دون أي شك لأن تفسر على أن الضوء ينتقل في شكل موجات تنتشر في وسط لطيف لا يحس به الانسان وكانت هذه النتيجة تبدو له غير قابلة لأي نقاش حتى أنه لم يتردد في أن يكتب في مؤلفه « كتاب الضوء » سنة 1690 : ما يلي : « إن الفلسفة الحق (وكان يعني بذلك العلوم الطبيعية) ستفسر علل كل الظواهر الطبيعية تفسيرا ميكانيكيا . وإلا سنفقد كل أمل في أن نفهم أبدا أي شيء في الفيزياء .»

إن تلك المقولة تكتسي أهمية كبرى من حيث أنها تعبر لأول مرة عن تصور مبدئي ما يزال أثره موجودا إلى الآن وله ضلع في الشكوك القائمة حول صحة التفاسير التي تعرضها علينا الميكانيكا الكمية الحديثة . فالمقولة

تجعل لها مصادرة هي اللجوء إلى « الفهم » وتدعي أن التصورات الميكانيكية هي وحدها التي تسمح بذلك « الفهم » . إنه مجرد رأي مسبق لا مبرر له ، لكن دعاته المتعنتين مازال يغيب عنهم أن صحته الظاهرية هي التي تغرهم فيرفضون بكل حدة أي بحث يسير في اتجاه الفيزياء اللاميكانيكية . فالمسألة يمكن مقارنتها بإصرارك على أنه لا يمكن أن تقوم بحسابات صحيحة إلا إذا اعتمدت على أصابعك .

على أن هذا التصور الميكانيكي لم يحدث اضرارا في الفيزياء ، بل إن فائدته كانت واضحة. فقد أدى تطبيقه إلى نجاحات لا جدال فيها في بعض الميادين نذكر منها البصريات إذ أعطتها نظرية هويغنس الميكانيكية دفعا كبيرا . ولا شك أن تلك النظرية قد فقدت أتباعها منذ أن ظهر مع مكسويل أن النظرية الكهرمغناطيسية تفوقها بكثير . إلا أن الأمور ستبدو لنا في ثوب آخر إذا ما اقتصرنا على التجارب التي اعتمدها هويغنس دون سواها . فقد كانت لهويغنس فكرة في منتهى الدقة عما يجب أن تجلبه النظرية في الفيزياء . فالنظرية مستمدة من مبادىء يمكن اعتبارها مبرهنا عليها إذا كانت الاستنتاجات الناجمة عن افتراضاتها موافقة تماما للظواهر التي تعرفنا التجربة إياها .

وهذا لا شك تفكير حديث يطابق ما ذكرناه سابقا من أن الفيزياء يجب أن تسمح بالتنبؤات فعلى هذا الأساس كان هويغنس على حق حين اعتبر أنه قد برهن على نظريته الميكانيكية بخصوص الضوء . إذ أنها فسرت كل ما كان يعرفه من تجارب ضوئية وقادته إلى تكهنات أثبتت التجارب صحتها . على أنه كان من المفروض أن يفكر هويغنس في وجود تجارب أخرى لم يكن يعرفها ولم يقم بها أحد لحد ذلك الوقت ولا تتفق وتفسيراته الميكانيكية . وهذا وارد بالنسبة لكل نظرية . فالنظرية نسبية ولا تكون

صحيحة حقا إلا في القطاع التجريبي الذي وضعت من أجله . ثم إنها قد تستوعب أيضا تجارب مستقبلة بيد أنه يجب ألا ننسى أبدا أنه يكون من الواجب في يوم من الأيام أن تراجع أو أن يفسح مجالها .

دالنبـــار :

لقد كان لدالنبار (1717ـــ1783) الفضل في إغناء الميكانيكا بمعادلتين اشتقهما من مبدئي نيوتن سهلتا كثيرا حساب أوضاع التوازن والحركة في أي هيكل مادي تسلط عليه قوى معينة . كان دالنبار من الذين أسهموا في تأسيس التصور الميكانيكي المادي وأوضح برنامج ذلك التصور في نثر بديع في مقدمة « دائرة المعارف الفرنسية » سنة 1751 فتقيد بالقواعد الفلسفية التي بنيت عليها المادية حين بين كيف يمكن أن نصل إلى المعرفة المادية عن طريق معرفتنا للطبيعة انطلاقا من المدركات الحسية التي تعترضنا مباشرة . وهذا لعمري موضوع يهم الفيزياء الحديثة أيضا لأنه يقودنا إلى التجريد . فلقد كان دالنبار يؤكد على أن من واجب الفيزيائي أن ينظر إلى عالم الظواهر نظرة تجريدية فيختصره ليصبح أكثر استجابة لطرائق القيس التي سيستعملها وليس من واجب الفيزيائي الاهتمام بالخصائص الحسية أو اللونية أو الطعمية إلخ ... فهي لا يمكن تبليغها إلى الآخرين ـــ كما سبق أن ذكرنا ـــ ولا وجود لأي قانون طبيعي يمكن أن يستوفي تكوينها كما نحس بها نحن . وهذا ما يجبرنا على التعبير عن تلك الخصائص تعبيرا عدديا يسهل علينا طريقة الابلاغ إلى الغير كما هو الحال بالنسبة لقياس اهتزازات الألوان والأصوات « وبهذه الطريقة يعرّي العقل المـادة تعرية منهجية من كل خصائصها المحسوسة حتى لا يبقى منها أمام أعيننا إلا الخيال وذلك باستعمال تعابير مجردة » وما ذلك الخيال إلا ما سميناه سابقا ببنية ميدان

ظاهرة معين . وهكذا كان دالنبار سباقا في رسم فكرة ستبرز أهميتها الكبرى في ما بعد ، عند حوصلة الميكانيكا الكمية .

التحولات الطارئة على مفهوم الذرة :

إن الميل المتزايد إلى اللجوء إلى تجريد الطبيعة أمر سبق « دالنبار » ولم تنج منه الذرة التي كانت خصائصها الملموسة تتلاشى شيئا فشيئا فكيميائيو القرن السادس عشر كانوا يصورون الذرات كأشياء معقفة أضيفت إليها لوازم غريبة متعددة تمكنها من التقاط ذرات أخرى وبذلك تمكنوا من تفسير القوة التي تشد بعضها إلى بعض . إنها لا شك طريقة بسيطة لتفسير التجاذب بين الذرات ولكن المفهوم التجسيمي للقوة كان سائدا في ذلك العصر ولم يكن يسمح بتصور آخر . إذ كيف يمكن لشيئين أن يتجاذبا ويتلاحما إذا كانا مسطحين تماما ؟ لكن نيوتن سيكتشف في زمن لاحق أن الاجرام السماوية ، بفضل الجاذبية ، ليست في حاجة إلى مخاطيف تمكنها من التجاذب ، فهناك إذن قوة جاذبية تعمل عملها دون أن تكون في حاجة إلى وسيط مادي . وهكذا كان التفكير يتدرج نحو افتراض مفاده أن قوى مماثلة تقوم بنفس العمل بين كل الأجسام وبين الذرات أيضا . فنزعت عن الذرة زينتها المخطفة فاستعادت شكلها الكروي . ثم جاء دور اليسوعي « بشكوفيتش » فقام بتبسيط هام في أواسط القرن الثامن عشر وشك في أن تكون للذرة أبعاد بل تصورها كمراكز قوى نقطية .

وهكذا بداية من القرن الثامن عشر بدأ مفهوم الذرة يفقد شيئا فشيئا خصائصه الملموسة . وليس مما لا فائدة فيه أن نقارن هذا التحول بالأفكار التجريدية التي أضفتها الميكانيكا الكمية على الذرة تلك القسيمة العنصرية . فقد عملت الميكانيكا الكمية جادة على تجريد الذرة بصفة أكثر حسما من

ميكانيكا القرن الثامن عشر ، إذ أنكرت الفائدة التطبيقية لمفهوم الحجم في القسيمات وحجزت بذلك كل تصوير فضائي لها . بحيث لن نستطيع الجزم بأن القسيمة مجرد نقطة أو أن لها امتدادا لأن امكانات القيس لا تسمح لنا بأن نصرح بشيء عن التركيب الفضائي لقسيمة نهائية للمادة . أضف إلى ذلك أن ما اصطلح على تسميته بالمحتوى المادي للشيء مفهوم لا ينطبق على القسيمة أو أن القسيمة لا تحتوي على شيء يثبت مع الزمن . ولا شك أن علاقات التشكك هي التي جردت القسيمات من طابعها الملموس وذلك باعتبار أن مواقع القسيمات لا يمكن تحديدها بدقة إلا في حالات خاصة . على أن ذلك لا يعني أن ليس لنا وسيلة لتحديد موضع القسيمة عند الاقتضاء فالشك قد يساورنا حينئذ في معرفتنا لموقع القسيمة لا في الموقع ذاته وهذا ما لا يضع الطابع المحسوس للفكرة موضع نزاع . فالأمر يتعلق فعلا بنوع من الاضمحلال يعتري الموقع ولا يقبله التفكير العادي فينتج عن ذلك أن مفهوم « الموقع » بالنسبة للقسيمة العنصرية لا ينطبق إلا بصفة استثنائية أي عندما نتخلى عن التعرف على كل حالات حركتها .

فبعد أن قارنا بين التجريدات التي أجريت على الفيزياء القديمة والفيزياء الحديثة توصلنا إلى نتيجة هي أن الفيزياء ــ منذ زمن بعيد ــ كانت تعتبر أن التجريد ضروري لتبسيط التشابك الهيكلي في الكون وأن أسبابا عديدة حتمت اليوم أن تضيع بعض المفاهيم الجارية في اللغة العادية معانيها عند تطبيقها في الميدان المجهري ، فلا بد حينئذ من تجاهل تلك المعاني عند القيام برسم صورة للقسيمات العنصرية .

لكن لنعد إلى الفكرة الأم في الفيزياء المادية الميكانيكية أي إلى ذلك الاعتقاد بأن كل ما يحدث في الطبيعة لا يمكن تفسيره إلا بتعبير ميكانيكي . فلم تكن الفيزياء لتتشبث به طيلة قرنين كاملين لو لم يؤد إلى نجاحات باهرة كانت مبررا له . ولقد سبق أن ذكرنا أن ذلك ينطبق خاصة على التفسير الميكانيكي للضوء فقد برهن هويغنس على أن الضوء يمكن أن يفهم كحركة تموجية . إلا أن هويغنس كان يظن نفسه مسموحا له بالاعتماد على عدد ضئيل من التجارب فكانت قوة حجته بذلك محدودة نسبيا . بيد أن الأوضاع تغيرت عندما شرع الشاب « فرينال » (1788—1827) في بحوثه العبقرية حول ظواهر التداخل والحيدان في الضوء فلقد أبرزت تلك البحوث الطابع التموجي في الضوء . وبرهن فرينال على أن تفاعل شعاعين ضوئيين لا يؤدي دائما إلى وضوح أقوى وعلى أن الضوء في بعض الحالات إذا أضيف إلى ضوء آخر يصبح ظلمة ، ولا شيء غير افتراض انتشار الشعاع الضوئي حسب ظاهرة تموجية يمكن أن يفسر ذلك . فإذا ما أحدث شعاعان ظلمة فذلك لأن قمة موجة أحدهما صادفت الحضيض في موجة الآخر .

ومن هنا يطرح هذا السؤال : هل أن التجربة تبرهن أيضا على أن الحركة الميكانيكية التموجية هي أساس الضوء ؟ ففرينال ، من جهته ، لم يكن يرى أي مبرر للشك في ذلك . فقد كان العلماء في ذلك العصر يجهلون جهلا تاما وجود الأمواج الكهرمغناطيسية . ولم يكونوا يعرفون إلا الأمواج الميكانيكية التي يحدثها اضطراب في وسط مرن فلا داعي إذن للبحث أبعد من ذلك . ولم يكن فرينال فحسب مجربا عديم النظير بل كان أيضا عالما نظريا من الصنف الأول فلم يجد صعوبة في البرهنة أن كل الظواهر الضوئية

المعروفة آنذاك تؤكد الافتراض القائل بأن الضوء ينتشر في شكل حركة أمواج ميكانيكية .

وقد يبدو من العجيب الآن أن يتمكن فرينال من إقامة تلك البراهين . فالضوء مبني أساسا على ظاهرة كهرمغناطيسية لا ميكانيكية كما نعلم اليوم فهل معنى ذلك أن لا ضرورة لمعرفة كنه الضوء إذا ما أردنا بناء نظرية صحيحة حوله ؟ إن جزءا هاما مما كان يلوح لنا غريبا في الميكانيكا الكمية لأول وهلة يصبح ، فعلا ، أقل غرابة إذا أجبنا على ذلك السؤال إجابة مرضية .

فلقد أكدنا سابقا على أن الفيزيائي عند فحصه لمجموعة من الظواهر ينتهي دائما إلى وضع اصبعه على ما أسميناه بالبنية ، تلك التي تبقى من الظاهرة إذا ما جردت من كل ما لا يمكن قيسه أي ما لا يمكن التعبير عنه بعدد. فلا تبقى عندئذ إلا علاقة أو علاقات تربط بين المقادير المقيسة أي لا يبقى إلا قانون ينطبق على تلك المقادير . وهكذا نصل الآن إلى النتيجة التالية : لا فائدة من معرفة ما هو مفروض خلف مجموعة معينة من الظواهر إذا ما أردنا اكتشاف بنية تلك الظواهر . لأن الفيزيائي يطرح جانبا دائما كل ما لا تدركه المشاهدة . لنأخذ مثالا مفيدا كالضوء . ماذا كان فرينال يعرف عن الضوء ؟ كان يعرف أن الوضوح في الضوء هو ما يمكن قيسه وأنه يظهر في نقطة ما في الفضاء وفي زمن ما أو بالتالي أن الوضوح مرتبط بالفضاء والزمن . ولقد قاس فرينال الوضوح قيسا دقيقا ثم وضع انطلاقا من ذلك قانونا كان موافقا شكلا ودقة للقانون المعتمد على أن الضوء ينتقل أمواجا في الوسط المرن أو بعبارة أخرى إذن أثبت فرينال أن للضوء بنية الحركة المتموجة وهو ما عبر عنه بأكثر بساطة عندما قال إن الضوء حركة

تموجية . وكانت تلك الفكرة صائبة ما لم تتجاوز الميدان الذي كان فرينال يعرفه بالتجربة . وبالفعل فإن ظاهرتين اثنتين إذا ما تطابقتا داخل بنية واحدة ، فهما ظاهرتان متطابقتان في الجملة في نظر الفيزيائي لأنهما لا توحيان إليه بأية خاصية تمكنه من التمييز بينهما .

لكن لماذا هجر العلماء بعد ذلك النظرية الميكانيكية في الضوء وتبنوا التصور الكهرمغناطيسي ؟ ذلك لأنه نتج عن تجارب أخرى أكثر تعمقا أنه إذا ما كان الشبه كبيرا فعلا بين الضوء والأمواج المرنة من حيث البنية فإن ذلك الشبه لم يكن كليا إذا تبين فعلا أن للضوء بعض الخصائص البنيوية لا توجد في الأمواج المرنة ولكن ثبت وجودها في الأمواج الكهرمغناطيسية التي كانت قد اكتشفت مؤخرا . وبذلك تم الاقرار بأن الضوء ظاهرة موجية كهرمغناطيسية والخصائص الهيكلية التي تربط بين الظاهرة الضوئية والكهرمغناطيسية هي التي تعود بنا أساسا إلى معادلة مكسويل القائلة بأن قدرة الانكسار في وسط ما ترتبط بقيمة بعض الثوابت المميزة للسلوك الكهرمغناطيسي في ذلك الوسط .

النظرية الحركية للحرارة .

بما أن مساندة الضوء للتصور الميكانيكي للطبيعة قد توقفت فإن دعاة ذلك الاتجاه ارتموا بأكثر قوة على الحرارة . إذ أن الظواهر الحرارية يمكن ردها بسهولة إلى الحركات العشوائية التي تقوم بها الذرات والجزيئات . ولقد برزت إمكانات التفسير الميكانيكي في هذا الميدان منذ أن برهن «ماير وهلمولتز» أن الحرارة طاقة لا مادة . وباكتساب هذا المفهوم، زالت كل صعوبة في أن نتصور أن الجزيئات في الغاز تتخبط عشوائيا تخبط الذباب أسرابا وأن اصطداماتها بجدران الوعاء الذي يحويها يحدث ضغطا غازيا .

ثم إن العلماء في ذلك الوقت افترضوا أن درجة حرارة جسم ما تحددها شدة الحرارة ، فكلما كانت تلك الشدة مرتفعة كلما كانت حركة الجزئيات أقوى وانطلاقا من ذلك أصبح من السهل تفسير كل الظواهر الناتجة عن الحرارة تفسيرا ملموسا . ذلك هو أهم ما توصلت إليه النظرية الحركية للحرارة وهي ما تزال قائمة لحد الآن لم يعترض عليها أحد أنها كثيرا ما تعرض على الفيزياء الحديثة التجريدية كمثال للتفسير . ويعزى الكمال في تلك النظرية إلى أنها تتجنب كل لجوء إلى التجريد وتسمح بالاعتقاد أن كل الظواهر الطبيعية تخضع لحتمية منطقية . فمن خصائص الغاز أنه يسلط على جوانب الوعاء الذي يحويه ضغطا يتزايد بتزايد الحرارة أو الضغط عليه . فالضغط ناتج عن الجزئيات التي يقذف بها الغاز جدران الوعاء وارتفاع درجة الحرارة يزيد في قوة الجزيئات المتساقطة على تلك الجدران في حين أن انقباض حجم الغاز يرفع من كثافة تلك الجزئيات وفي الحالتين تزداد شدة الضغط .

إن ذلك التفسير يبدو واضحا كل الوضوح بل انه يجعلنا نرى أيضا أنه تفسير يشفي غليل كل شخص لم يتعاط الفيزياء أبدا في حياته . وهو تفسير يسير في الخط الذي كان يفرضه هونغينس بقوله : « يجب أن تفسر الأسباب المؤدية إلى كل الظواهر الطبيعية تفسيرا ميكانيكيا » . هذا إذا أردنا المحافظة على أمل فهم أي شيء في علم الفيزياء .

على أن التفسير الميكانيكي في الواقع لا يمدنا بفهم بالمعنى الصحيح ولكنه يمكننا من تصور **ملموس** لما يخفي وراء ظواهر الحرارة . فالجانب الملموس في النظرية هو الذي يرضي العقول حتى أنه أوقع في الخطأ مفكرا كبيرا كهويغنس فانتظر العلماء طيلة قرنين قبل أن يعوضوا تلك النظرية بتفسير واقعي . فلماذا نعتقد أننا قد فهمنا ظاهرة ميكانيكية أي ظاهرة ملموسة ؟

الجواب هو أننا نعود دائما إلى الاعتقاد الواهم بأن ما نحس به المرار العديدة يوميا لا يمكن أن يحدث إلا على ذلك النحو . فإذا اصطدمت قسيمات كروية بالجانب الداخلي للوعاء وارتدت إلى الوراء فإن ضغطا يكون قد سلط على ذلك الوعاء فيبدو مما لا يتصور ألا يحدث ذلك الضغط . وفي الواقع إن عدم حدوث ذلك الضغط لا يناقض البتة قوانين التفكير . فإذا ما بدا لنا أن حدوث الضغط أمر جائز فإن ذلك راجع فقط إلى أن التجربة المستمرة قد خلقت فينا الاقتناع بوجوده .

وإذا ما كانت الفائدة في النظرية الحركية أنها لا نقاش فيها فمن المستحسن ألا نغالي في قيمة خاصية الشيء الملموس فيها . فالغاية من النظرية مهما كانت هي دائما أن تفي بالظواهر الملاحظة عن طريق نظام من القوانين الطبيعية فبقدر ما يكون عدد تلك القوانين فيها محدودا تكون تلك النظرية قد حققت الهدف المرجوّ منها . فإذا ما خيرنا بين نظريتين متنافستين اخترنا أقلهما قوانين . وفي ميدان الحرارة ، نظريتان : النظرية الحرديناميكية (ميكانيكا الحرارة) والنظرية الحركية وكل منهما ترى أن الحرارة طاقة . إلا أن الأولى لا تبرز خصائص الحرارة في حين أن الثانية تعالج الحرارة كحركة عشوائية للذرات والجزيئات فهي إذن أكثر اقتصادا في وضع القوانين إذ أنها تستوفي كامل الظواهر الحرارية باستعمالها عددا من القوانين دون عدد تلك التي تستعملها النظرية الأولى . فالنظرية الحرديناميكية تتطلب اللجوء إلى بعض القوانين تجعلنا النظرية الحركية في غنى عنها . لنأخذ كمثال التوازن في جسم ما ، ليكن غازا . فحالة التوازن تعبر عن علاقة بين الحجم والضغط ودرجة الحرارة ، نجد النظرية الحرديناميكية مجبرة على تقبلها دون أن ترجعها إلى أي قانون . أما النظرية

الحركية فهي على العكس من ذلك تمكننا من تفسير حالة التوازن لأنها تساير مبادىء الميكانيك ولا تصل حينئذ إلى مرتبة القانون المتميز .

إن النظرية الحركية ليست فقط أكثر اقتصادا في عدد القوانين وآنق من النظرية الحرديناميكية بل هي تفوقها أيضا من الناحية الاستكشافية من حيث أنها تكشف الغطاء عن علاقات ومن ثمة عن بنيات لا تمكننا النظرية الأخرى من كشفها . فالنظرية الحركية قادرة على التنبؤ بالقيمة الصحيحة للحرارة النوعية بالنسبة لبعض الغازات وهذا ما لا تستطيعه النظرية المنافسة. فممّا لا شك فيه أن التصور الحركي للحرارة قد تغلب على التصور الحرديناميكي وهذا ما قد تعده الفيزياء الميكانيكية النظرة ، كنجاح كامل لها .

قوانين النظرية الحركية للحرارة كقوانين احصائية :

لكن لا يترتب عما تقدم أن تبدو الحرارة في النظرية الحركية كطاقة ميكانيكية فحسب . فاسهام هذه في تقدم المعرفة كان لا شك حاسما إلا أنها سرعان ما أثارت صعوبة عند التطبيق . إذا ما أردنا معالجة نظام مادي معين حسب مبادىء الميكانيكا فإن من الضروري معرفة حالته الأولى بالتدقيق أي معرفة موقع كل جزء فيه وسرعته في ذلك الموقع وبغير ذلك لا يمكن التنبؤ بالحالة النهائية التي سيؤول إليها ذلك النظام . إلا أن معرفة موقع كل جزئية وسرعتها من بين ملايين الجزيئات التي يتكون منها ذلك الجسم المرئي أمر مستحيل . فمهما تكن القياسات التي نقوم بها على النظام الماثل أمامنا صحيحة فإن امكانات مختلفة عديدة تبقى محتملة بخصوص الحالة المجهرية لذلك النظام ولكل احتمال حالة نهائية مختلفة . ومعنى ذلك بعبارة أخرى أن كل مسح للحالة الأولى التي يبدو لنا فيها جسم ما لا يمكننا إلا من توقعات مشكوك فيها لما ستكون عليه حالته المستقبلة . فالمبدأ التحتيمي

القائل بأن نفس السلسلة من الحالات المتتالية تنجر بالضرورة عن نفس الحالة الأولى المرئية مبدأ لا قيمة له بالنسبة لنظام يتكون من عدد كبير من الجزيئات وهذا لا يتناقض مع وجهة نظر الحتمية الأساسية في الفيزياء الكلاسيكية بل يفسره عجزنا عن معرفة الحالة المجهرية للنظام معرفة صحيحة وهي الشرط الذي بدونه لا يتسنى لنا أي تنبؤ .

إلا أنه سبق أن قلنا أن لا قيمة للنظرية الفيزيائية إذا لم تسمح بالتنبؤات . فكيف استجابت النظرية الحركية للحرارة إلى ذلك الشرط الوجوبي في حين أنها لا تمكننا من معالجة الحالة الصحيحة للنظام المادي المدروس معالجة دقيقة ؟ ليس لها أمام هذا السؤال إلا احتمال وحيد : هو اتباع طريقة احصائية والقيام بتجارب متتالية وهذه منهجية تطبق كليا تلك التي ستتوخاها الميكانيكا الكمية في ما بعد . والطريقة تتمثل في ارجاع النظام المادي المعين إلى حالته الأولى عبر عدد كبير من المعالجات فيعرف كل مرة تطورا مختلفا وفي كل مرة تسجل الحالة المرئية للنظام . وبذلك يقع المسح الاحصائي لعدد المرات التي يكون فيها على هذه الحالة أو تلك أو — وهذا يعني نفس الشيء — استخراج الاحتمال الذي يكون به في هذه الحال أو تلك . وإذا ما تم ادخال عامل الزمن في الاحصاء بواسطة عمليات ملائمة ترتبط بكل حالة أولى من الحالات فإن التنبؤ بحالة النظام المادي المعني يصبح ممكنا . ولا شك أن التنبؤات لا تكون صحيحة مائة في المائة فكل ما نستطيع التنبؤ به هو أن النظام المدروس سيكون في هذه الحالة أو تلك حسب احتمال معين وذلك انطلاقا من الحالة الأولى التي كان عليها قبل ذلك . ومعنى هذا أن السببية الدقيقة لا وجود لها بل هناك **سببية احصائية** .

وعلى هذا النحو ، تسلك النظرية الحركية للحرارة منعرجا احصائيا صرفا بما أن التنبؤات التي تمكننا منها ليس لها طابع الوثوق التام ولا تعدو أن

تكون مجرد احتمالات . ولا بد من التركيز هنا مرة أخرى على أنها لم تثر مسألة وجود حتمية دقيقة . فالنظرية الحركية لا يساور أصحابها أي شك في أن حركات الجزيئات في الغاز تخضع لقوانين الميكانيكا فهي حينئذ معينة تعيينا دقيقا إلا أن أحدا لا يستطيع مع ذلك تتبع تلك الحركات وهذا ما يجبر الفيزياء على الاكتفاء في تلك الحالة بوصف احصائي لحالات الغاز فتتّبع طريقة تستعمل كلما كان النظام المعني غير معروف معرفة كاملة . لنأخذ مثلا رجل يريد ابرام عقد تأمين على حياته : فشركة التأمين تجهل كم سيعيش إذ من المحتمل أن يموت الساعة ومن المحتمل أيضا أن يبلغ المائة من العمر ولكن ذلك لا يمنع الشركة من ابرام عقد التأمين فهي تعود فعلا إلى احصائية تنبئها بالسنوات التي يحتمل أن يعيشها رجل بلغ عمرا معينا واعتمادا على ذلك تحدد الشركة مقادير الاشتراك التي يجب أن يدفعها المؤمن والشركة في بعض الحالات خاسرة ولكنها رابحة في المعدل .

احتمال حالة ما :

إن العديد من الحالات المجهرية تؤدي إلى نفس الحالة على المستوى المرئي وكلما تعددت الامكانات سهل على الطبيعة تحقيق تلك الحالة أو قل قوي احتمال تحقيق تلك الحالة .

وانطلاقا من ذلك بنى « بلتزمان » تأويله الشهير للمبدأ الثاني في الحرديناميكا فأقر أن القصور الحراري للنظام المغلق لا يمكن أن ينتقص أبدا . وسرعان ما نفهم هذا المبدأ إذا تصورنا القصور الحراري كمتغير يرتبط

باحتمال حالة ما ويزداد بازدياد ذلك الاحتمال [1] فلقد أقر بلتزمان بأن أي نظام مادي إذا ما ترك لنفسه فإن حالته لا تتغير إلا بازدياد قيمة احتمال حدوثها . لنفرض أن غازا تم خزنه في وعاء بادىء ذي بدء حسب كثافات متفاوتة داخل الوعاء . فهل يمكن تصور الغاز متجمعا في ركن من أركان ذلك الوعاء في حين تبقى بقية الوعاء فارغة ؟ إن تلك الحالة صعبة الاحتمال بل إن أقوى الاحتمالات هو أن يتوزع ذلك الغاز بالتساوي في كافة أرجاء الوعاء . وهكذا ينتقل الغاز بعد فترة وجيزة من الحالة الأولى إلى الحالة الثانية التي تتيمز بقصور حراري أرفع قيمة وعلى هذا الأساس يبدو المبدأ الثاني كقانون احصائي لا كقانون سببي ومعنى ذلك أن تحقيقه ليس مستحيلا استحالة مطلقة بل هو بعيد الاحتمال .

إن الميكانيكا الاحصائية ــ وهي التي أدخلت فكرة الاحتمال عوضاً عن اليقين ــ كانت نقطة الانطلاق في تطور سيؤدي ــ بعد مضي قرن ــ إلى تغيير كامل في التصور الفيزيائي للكون . فقد طرح ــ مبكرا ــ الافتراض القائل بأن كل قوانين الفيزياء على المستوى المرئي ــ لا المبدأ الثاني للحرديناميكا فقط ــ يمكن سنها في قالب احصائي وبذلك تكون هيمنة السببية الضيقة قد انتهت على الأقل على المستوى المرئي . فتصبح كل

(1) القصور الحراري أو الانتربية ، عامل يظهر في الديناميكا الحرارية أو الحرديناميكا ولا يمكن تعريفه إلا تعريفا رياضيا ومع ذلك لا يمكن وصفه وصفا ملموسا ولكنه يعني ما يلي : تحدث في الطبيعة حسب المبدأ الثاني للحرديناميكا تحولات لا تراجع فيها أي أنها تحولات تفرض على الطبيعة ألا تعود إلى حالتها الأولى . إن تلك التحولات تمكننا من أن نلاحظ أن القصور الحراري للأجسام التي عرفت تلك التحولات قد ارتفع من جراء تلك التحولات . فإذا بقي القصور الحراري مستقرا أثناء التحول فإن ذلك يعني أن ذلك التحول قابل للتراجع وعندئذ حسب المبدأ الثاني لا يمكن أن تنخفض قيمة القصور الحراري . ولقد كان لبلتزمان الفضل في البرهنة على أن للقصور الحراري علاقة باحتمال حدوث حالة ما .

القوانين مفتوحة لتلك الشواذ التي لا تصادفك إلا نادرا فإذا بك تعتقد أنها لا تحصل البتة : لكن أين توجد السببية عند الاقتضاء ؟ فقد ظن بادىء الأمر أن السببية تنطبق على الظواهر المجهرية من حيث أن تلك الظواهر تتبع نسقا محددا بدقة إلا أن البرهنة على ذلك لم تكن ممكنة بل إن العلماء قد تساءلوا قبل دخول الميكانيكا الكمية إلى الساحة ، هل من مبرر لتسليط مبدأ السببية على الظواهر الذرية . ولقد استطاع « اكسنار » بنظرته المستقبلية أن يكتب سنة 1922 : « يجب ألا ننسى أن مبدأ السببية وضرورتها لم يفرضا علينا إلا بالنسبة لتجارب على ظواهر مرئية فسحب ذلك المبدأ على ظواهر تحدث على النطاق المجهري وحينئذ افتراض أن كل حالة استثنائية تحددها سببية ضيقة يصبح أمرا لا تبرره التجربة » .

السببية الاحصائية في الميكانيكا الكمية :

وهكذا تبنّى « اكسنار » وجهة نظر الميكانيكا الكمية التي بدأت تظهر آنذاك ودعواها المحركة ألا وجود في الكون المجهري لسببية ضيقة بمعناها المفهوم في الفيزياء الكلاسيكية . فالميكانيكا الكمية لم تكن تتصور إلا قوانين احصائية لا تسمح بتحديد الحالة النهائية لنظام معين تحديدا ضيقا ولكنها تحددها حسب احتمال معين فقط . فهي تدعو إذن إلى الاكتفاء بذلك كلما كان النظام المادي لا يسمح بالمعاينة الدقيقة وكلما كانت معرفتنا له غير الكاملة هي الأساس الوحيد الذي يمكن أن نتخذه وسيلة تنبؤ . ففي الواقع إن صعوبة المشاهدة تزداد كلما تركنا الميدان المرئي ونزلنا إلى الميدان المجهري لأن وسائل المشاهدة التي بين أيدينا لا تستطيع متابعة مصير ذرة بمفردها ولذلك لجأت النظرية الحركية للحرارة إلى الوسائل الاحصائية.إلا أن الأسباب التي دفعت بالميكانيكا الكمية في نفس الطريق كانت مختلفة .

ففي نظر الميكانيكا الكمية يستحيل التعرف على حالة جسم مجهري كالالكترون تعرفا كاملا صحيحا حتى لو ازيحت كل العراقيل الناجمة عن عدم ملاءمة وسائل المعاينة في مثل هذه الحالات . إذ اعتمادا على علاقات هيزنبارغ التشككية يستعصي جسم كالالكترون على الخضوع لقياسات معينة متزامنة لموقعه وسرعته في ذلك الموقع بحيث لا نستطيع البتة علميا وتجريبيا الوصول إلى حالته الميكانيكية بصفة مدققة ولا يتعلق الأمر هنا بجهل مؤقت سيمكن التقدم التقني للمشاهدة من تجاوزه بل إن ذلك الجهل نابع من أن رد فعل يحدث لا محالة بين المقيس وآلة القيس في كل ظاهرة يراد قيسها وهو رد فعل أساسا لا نستطيع التحكم فيه داخل حدود معينة .

وسنعود مرة أخرى إلى علاقات التشكك فنحن نريد ـــ وقد وصل بنا المطاف إلى هذا الحدّ ـــ أن نبرز فقط أن الانتقال من الفيزياء الكلاسيكية إلى الفيزياء الحديثة قد أحدث تغييرا أساسيا في مفهوم السببية ، فالفيزياء الكلاسيكية لم تكن تعارضها البتة . ثم إن « بلتزمان » نفسه رغم ما امتاز به من فكر ثاقب ، لم يخطر بباله في وقت من الأوقات أن يصبح الاستناد إلى السببية مستحيلا في عالم الذرات . إلا أن ما نشاهد على الصعيد المرئي ليس ذرة منعزلة بل هو دوما رد فعل جماعي لعدد كبير جدا من الذرات يخضع لقوانين احصائية لا لقوانين سببية. وما دمنا مقتنعين بهذا فإن فكرة البنية الأساسية للكون المرتكزة على السببية تفقد دعائمها التجريبية في الفيزياء الكلاسيكية ومشاهدتها للمرئيات . أما الميكانيكا الكمية فتضع في المقدمة تصورا آخر قطعيا للأشياء فهي ترى انتفاء علاقات سببية في كون الذرة أمرا مبررا أيضا وبذلك تضع حدا نهائيا للسببية اجمالا .

وهي في ذلك قد اعتمدت على علاقات التشكك التي تفيد أن من المستحيل التوصل ولو في ظروف مثالية إلى معرفة الحالة الحقيقية لجسم

مجهري . ومعنى ذلك أن الميكانيكا الكمية كانت تحاول تبرير انعدام السببية باللجوء إلى **معرفة ناقصة أساسا بطبيعتها** ، على غرار النظرية الحركية للحرارة . إلا أنه هذه المرة ليس طابع الذرة اللامتناهي الصغر هو الذي يمنع من المعرفة الكاملة بل إن قانونا طبيعيا هو علاقات التشكك يحول دون ذلك . فحسب هذا القانون لن نتمكن من قيس موقع القسيمة وسرعتها في نفس الوقت قيسا لا ريبة فيه أي لن نتمكن من التوصل إلى معرفة الحالة الميكانيكية للجسم المتحرك .

على أن هذا التصور لم يبق بلا منازع فقد ظهرت محاولات مختلفة كانت كلها تهدف إلى انقاذ السببية ، في ما يتعلق بالحدث المجهري . فعلاقات التشكك نفسها لا تحتمل النقاش لكن أن ينتج عنها تصور لا سببي للكون فهذا ما يدعو إلى النقاش . وعلاقات التشكك تعني أنه لا يمكن أن نعرف عالم الذرة معرفة دقيقة . أيترتب عن ذلك أن كون الذرة عالم لا سببي ؟ إن مثل هذا القول يعني معرفة مدققة للعالم . ثم لماذا يجب أن نصدق رأينا أعرج ؟

وتم العود من جديد إلى الفكرة القائلة بأن الميدان المجهري يخضع خضوعا تاما لمبدأ السببية وأن علاقات التشكك هي التي تحول دون التعرف عليها . فانعدام السببية ظاهريا في الكون المجهري لا يرتكز إلا على عدم اكتمال مشاهداتنا فتنفلت عنا مقادير لها دور حاسم في العلاقات السببية . فإذا ما نجحنا في الكشف عنها وعن نظام من التوافقات أمكننا الالمام بالهيكل السببي في ذلك الميدان وينتج عن ذلك أنه يكفي أن نربط بين الأحداث المعاينة ربطا محكما بواسطة مقادير مقيسة لكي نعيد ترميم النظام السببي الكامل .

إن هذه النظرة مازالت لتحد الآن تحتفظ بأنصارها إلا أن سبرا معمقا لعلاقات التشكك لا يؤكد صحة تلك الدعوى إذ أن الأمر يبدو وكأن الضبابية التي نتصور من خلالها الحالة الميكانيكية للقسيمة لا تنبع من أن الحالة الحقيقية تخفى عنا بل من انعدام وجود تلك الحالة الحقيقية التي كانت مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية تعبر عنها . فإذا ما قبلنا ذلك أصبح غياب السببية خارجا عن نطاقنا وأصبحت اللاسببية في المستوى المجهري جوهرية وعلى كل ستكون لنا فرصة أخرى للرجوع إلى هذا الموضوع من جديد .

انهيار الفيزياء المادية :

إن تاريخ المادية في الفيزياء يرجع إلى عهد ديمقريط فقد كان ينادي « بأن لا شيء يوجد غير الذرة والفراغ » وطالما كانت لتلك المقولة قوة القانون فإن كل ما يحدث في الطبيعة يجب أن يفسر على أنه حركة للذرة أو بعبارة أخرى يفسر بالرجوع دائما إلى ذلك الافتراض . فكل ما هو واقع هو مادي أو على الأقل مرتبط بعامل مادي . ولم تكن الظواهر النفسية لتخرج عن ذلك فقد كان ديمقريط يفترض أنها من صنع ذرات متحركة خفيفة صغيرة جدا . وإذا لم يكن أصحاب النزعة المادية في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر يؤيدون مثل تلك التصورات البدائية فإنهم كانوا على كل حال يتشبثون بأن الظواهر النفسية لا يمكن أن تتصور إلا في أنماط ميكانيكية وأنها من صنع حركة خارقة التشعب في ذرات المخ .

على أن أمورا أخرى قد اكتشفت في النصف الثاني من القرن التاسع عشر هي حقول القوى . وهذه الحقول لا تتطلب حَمَلة لها . إنها فضاءات توجد بها قوى تمكن البرهنة على فعاليتها بواسطة أجسام عيّنات وهي فضاءات يمكن أن تكون فارغة تماما . وعلى وجه التخصيص بدت الظواهر

الكهرمغناطيسية التي درسها مكسويل وفارادي في النصف الثاني من القرن الماضي ، غير مفهومة إذا نحن لم نلتجىء إلى فكرة الحقل . فالحقول الكهرمغناطيسية تبثها وتمتصها أجسام مشحونة كهرباء ، أجسام متحركة أو ساكنة فينتج عن ذلك نقل للقوة من جسم إلى آخر . ونستطيع تبيان تصرف الحقل بواسطة خطوط قواه أي بواسطة منحنيات يمكن إبرازها بنشر غبار حديدي في مجال ذلك الحقل ، فنعرف اتجاه القوة في كل نقطة من نقاط تلك المنحنيات .

ولقد شغل مشكل تلك المنحنيات بال فارادي زمنا طويلا فكان واضحا لديه أن حقلا لا بد أن يكون موجودا من نوع ذلك الذي يحدث مثلا تجاذب جسمين أحدهما شحن كهرباء ايجابية والآخر شحن كهرباء سلبية . فخطوط القوى في هذه الحالة تساير المنحنيات التي تصل بين الجسمين لكن كيف تحدث تلك المنحنيات تجاذبا ؟ لم يكن فارادي يستطيع — وهو الوفي للفيزياء الميكانيكية — أن يتصور ذلك التجاذب إلا على أساس ميكانيكي . فخطوط القوى تشبه فعلا حبالا مطاطية متوترة تصل بين الجسمين وتميل دائما إلى تقريبهما بما لهما من مطاطية خاصة وليست الحبال بالطبع حبالا حقيقية ولكن فارادي توقف عند تلك الصورة الايحائية فقد كان من الممكن الرجوع إلى الفكرة النيوتنية واعتبار أثير يملأ كل الفضاء ، وتمثل خطوط القوى وضعا متوترا فيه وبذلك يبدو أن تلك الصورة ستؤدي إلى القوى المعاينة شريطة أن نفترض وجود مقاومة للضغط على طول خطوط القوى في الأثير تكون موازية لتلك الخطوط ولقد جعل مكسويل من ذلك التفسير لحقل القوة نظرية صحيحة تؤدي إلى تطابق كامل مع التجربة إذا ما حددت له قيمة المقاومة والضغط .

إن فارادي كان يحمل فيَ ما يخص أهداف الفيزياء نفس الفكرة التي كان يحملها هويغنس في زمانه . فهو كزميله كان يعتقد أن الظاهرة تعتبر مفسرة إذا ما أخذت بعين الاعتبار أسباب وجودها الميكانيكية فلم يكن يشك البتة في التوصل إلى تفسير التأثيرات الكهرمغناطيسية التي كان اكتشفها مؤخرا تفسيرا ينحو ذلك النحو . وهكذا كان فارادي من كل الوجوه راضيا بالنتائج المتحصل عليها بافتراضه وجود أثير متوتر توترا مطاطيا . فكان إذن على يقين من أن كل الظواهر الكهرمغناطيسية يمكن ارجاعها في يوم من الأيام إلى الميكانيكا إلا أن الأيام أظهرت غير ذلك . فقد استنجد مكسويل بكل مدّخراته الابداعية لتحقيق ذلك الهدف إلا أنه في النهاية وأمام عجزه عن التوصل إلى نتائج مرضية ، لم يبق له إلا التخلي عن بذل الجهد في ذلك الاتجاه فقد كان من المستحيل بناء القوانين الكهرمغناطيسية أي بناء معادلات مكوسيل ـــ بالاعتماد على التفسير الميكانيكي ـــ بل كان من الضروري اعتبار تلك المعادلات قوانين خاصة .

ومن هنا أصبح من الضروري الاقرار بأن الطبيعة لا تسير حسب قوانين الميكانيكا فقط وهذا الاقرار وحده يكفي لدحض التصور الميكانيكي للكون . ثم إن الهزيمة التي لحقت ذلك التصور أصبحت كاملة حينما انكشف الطابع الخرافي في الأثير وظهر للعيان.فقد كان ذلك العنصر ضروريا للنظرية الميكانيكية استحسنه الفيزيائيون زمنا طويلا إلا أن كل التجارب التي حاولت البرهنة على وجود الأثير ، بما في ذلك تلك التجربة العظمى التي قام بها ميكلسون، قد باءت كلها بالفشل فلا وجود للأثير ولا وجود إذن لتلك التوترات المطاطية التي كانت تستخدم لتفسير وجود الحقل الكهرمغناطيسي تفسيرا ميكانيكيا .

إن مثل هذه النتائج قد تكون خيبت ظن « فارادي » إذ لو لم يكن الحقل متصلا بشيء ملموس فما عساه أن يكون إذن ؟ وحسب ما تقتضيه نظرية مكسويل فكل فضاء مزروع حقولا منتج للطاقة لكن كيف يمكن أن توجد تلك الطاقة ؟ إذا لم يوجد ما يحملها ؟ لقد وجدت الفيزياء الكلاسيكية نفسها عاجزة عن الاجابة على هذين السؤالين اجابة مرضية ، فاستمرت تنتهج أسلوبا مغرقا في المادية منعها من التسليم بواقع الحقل غير المادي . لكن التصور الجديد أثبت أن لكل طاقة كتلة مكافئة فلم تعد توجد فائدة منذ ذلك الوقت في تصور الحقل كلا شيء يسبح في فضاء فارغ . ورغم كل ذلك لم يتمكن التصور الجديد من اقناع الناس لأنه لا يدخل في الأطر الكلاسيكية ، لكل ذلك ، مكثت الفيزياء التقليدية تنتظر دون أن تستطيع قول أي شيء في ما يجري من استعدادات في اتجاه الانقلاب الذي بدأت تباشيره تظهر في بداية قرننا هذا . وانطلقت ضربة البداية — إن صح التعبير — مع تجارب جديدة لم تكن الفيزياء التقليدية تستطيع تبنيها فأجبرت العلماء على الدخول إلى أرض جديدة .

وهكذا اضطرت الفيزياء إلى مراجعة مبادئها كلها مراجعة كاملة فتبيّن أن منها ما كانت خطأ فتعين اكتشافها وتصحيحها . ولم يتم ذلك بسهولة ودون أية مقاومة . بل إن علماء كانوا يتباهون بتفتحهم استمروا في التشبث بطرق التفكير القديمة ولم يقبلوا أن توضع قيمتها في الميزان . فلا غرابة إذن أن يمكث « انشتاين » معزولا زمنا طويلا لأنه كان يرفض الأحكام المطلقة التي كانت تهيمن حينئذ في ترتيب الأشياء والأحداث داخل الفضاء والزمن . فكان يدافع عن عدم التمكن من تحديد تزامن حدثين اثنين يحدثان في موضعين مختلفين تحديدا مطلقا بل لا بد من اتخاذ نظامين مرجعين متحركين مختلفين ، كانطلاقة في التفكير قصد التوصل إلى تفسير اختلاف الأحداث .

فنظرية النسبية كانت أولى العواصف التي هبتَ على الفيزياء الكلاسيكية فهزتها من الأساس فتركت بعد هبوبها فيزياء مبدّلة أقل ما يقال فيها أنها لم تعد تستخدم نفس التصورات القديمة إلى درجة أن من لا يتخلى عن تلك التصورات الآن إلا تحت مظلة **البنية الفضازمنية** يبدو كلاسيكيا دون منازع .

ثم إن ثورة ثانية قد جدت بعد ذلك وكان لا بد لها من المضي إلى أبعد من ذلك إذ قادت الفيزياء إلى **تصور شرعية طبيعية جديدة** . فالفيزياء الجديدة لم تعد تفترض ــ كما كان الحال سابقا ــ وجود مجموعة ثابتة متواصلة من الظواهر ومهما كانت الزاوية التي ننظر منها إلى الفيزياء فإن ما نودّ إبرازه في هذا المقام ، هو أنها دائما تعلمنا أن أفعالا أولية غير قابلة للتجزئة تحدث على المستوى المجهري وتستعصي عن كل تحليل وحينئذ تعترضنا في شكل تقطع في الظواهر أنها أفعال تحطم علاقات السببية الرابطة بين الملاحظات المتلاحقة وهي علاقات كانت لحد ذلك الوقت لا نقاش فيها حتى أنه لم يعد في الامكان الاطمئنان كليا إلى النتيجة من ملاحظة معينة إلى التي تليها . فالميكانيكا الكمية تنطلق أساسا من أن القوانين الطبيعية لا يمكن أن تكون إلا احصائية .

الفصل الثاني

في الطريق نحو الفيزياء الحديثة

نظريــــة النسبيــــة

الأثير في الميزان :

لقد استمد اينشتاين نظريته في النسبية من حادث بسيط ففي سنة 1888 أعد « مايكلسون » تجربة أظهرت أن الضوء بالنسبة للأرض ينتشر في كل الاتجاهات بنفس السرعة . وهذه نتيجة لم تكن متوقعة بتاتا . فحتى النظرية الكهرمغناطيسية في ذلك العهد ، كانت تعرض الضوء كظاهرة موجيّة تنتشر في وسط لا يدرك ولا يحس هو الأثير . فلا يمكن ــ حسب الافتراض السائد آنئذ ــ أن يكون لدعوى « مايكلسون » معنى إلا إذا ربطنا سرعة الضوء بالأثير أو بجسم ساكن فيه إلا أننا طبعا لا نستطيع أن نفترض أن الأرض ثابتة لا تتحرك في ذلك الأثير . وبما أنها تدور حول الشمس بسرعة تقدر بـ 32 كلم في الثانية فإنها تجتاز الأثير بسرعة ــ أغلب الظن ــ أقوى فإذا كان لهذا الاحتمال أساس من الصحة فإن اشارة ضوئية مصدرها الأرض لا بد لها من الابتعاد عنها في اتجاهات مختلفة وبسرعة يجب أن تكون أدنى في الاتجاه الذي تسير فيه الأرض عند اجتيازها الأثير وبسرعة أقصى في الاتجاه المعاكس لكن « مايكلسون » أثبت أن الضوء في الواقع ينتشر بالنسبة للأرض بنفس السرعة في كافة الاتجاهات .

نهاية سلطان الأثير :

لقد تمّ استنباط تجارب أخرى قصد البرهنة على أن حركة أي جسم مرتبطة بالأثير إلا أنها كانت كلها سلبية فلا يمكن أن يفسر ذلك الوضع إلا هذا التفسير الوحيد. إذا لم تستطع أية تجربة البرهنة على شيء ما فإن ذلك الشيء لا دخل له في سير الطبيعة أو بالأحرى لا يهم الفيزيائي فهذا الأخير يجب ألا يصف إلا ما يعاين لذلك يصبح الاعتقاد بعدم وجود ذلك الشيء صحيحا . ومعنى ذلك في الحالة التي تعنينا أن الأثير لا وجود له وحينئذ لا وجود لحركة مرتبطة به . وهذا ما يفسر سلبية التجارب . تلك هي النتيجة التي انتهى إليها اينشتاين إثر فشل كل التجارب التي حاولت البرهنة على وجود الأثير ، وعلى تلك النتيجة بنى مبدأ النسبية .

مسألة الحركة المطلقة :

إن مبدأ النسبية برز عندما تساءل الناس هل أن لحركة جسم ما معنى مطلقا أم أن ذلك المعنى يكون دائما نسبيا ؟ ويجب أن نفهم هنا أن الحركة المطلقة حركة يمكن تحديدها دون الرجوع إلى جسم آخر . فعندما يعلمنا السائق ونحن في السيارة أننا نسير بسرعة 80 كلم في الساعة فإنه يشير إلى سرعة السيارة بالنسبة للأرض . لكن كم تكون سرعتنا ذاتها ، لا بالنسبة لأي جسم آخر ؟ وهل لهذا التساؤل من معنى ؟ أم أنه لا يمكن تصور السرعة إلا كسرعة نسبية ؟

كان نيوتن يعتبر مسألة الحركة المطلقة لجسم ما مسألة رئيسية . فلم يكن للفضاء في نظره على غرار « كانت » من بعده شكل معنوي . بل كان ينظر إليه كنوع من المادة وكمستودع مستقل الوجود عن الأجسام التي

تملؤه ومن هنا كان ينسب إليه القدرة على إبراز نظام احداثيات معين يمكن أن نعتبره ثابتا في الفضاء . فحركة أي جسم بالنسبة إلى ذلك النظام الساكن تعتبر حركة مطلقة. فكيف توصل نيوتن إلى تلك الحركة التي تخلى عنها الفيزيائيون اليوم ؟ ذلك لأن بعض الحركات تبدو لك فعلا وكأنها تحدث دون الالتجاء لجسم آخر كمرجع فنحن عندما نكون في « المناج » نحس بقوة تدفعنا إلى الخارج أثناء دورانه وهي قوة تشهد على أن الحركة دائرية ويمكننا القيام بها دون أن نضطر إلى التنقل بالنسبة لجسم آخر . فكأن لدوران «المناج» معنى مطلقا . ولكن ذلك غير صحيح حسب النظرية النسبية العامة إذ لا بد من تصور تلك الحركات كحركات نسبية مثلها مثل مختلف الأشكال الأخرى للحركات. إلا أن نيوتن كان يعتقد أن تدخل تلك القوى النابذة هي من عمل الفضاء المطلق ذلك العمل الذي يظهر عند دوران الجسم في الفضاء .

أما « لايبنيتز » ـــ أكبر مناهضي نيوتن ـــ فقد كان يرفض نظرية الفضاء المطلق هذه . فالفضاء حسب رأيه لا يعدو أن يكون مجموع علاقات بين الأجسام التي تملؤه دون أن يكون لأي جسم منها وجود مستقل . وهذا لعمري تصور يطابق تصور الفيزياء الحديثة في كل شيء . فما دام الفضاء متكونا من علاقات بين الأجسام فلا يمكن أن تكون له في حد ذاته وبعيدا عن تلك الأجسام ـــ خاصة المرجع ـــ فهذا لا يمكن أن ينطبق إلا على الأجسام نفسها . ومعنى ذلك أن الفضاء في حدّ ذاته لا يسمح بتحديد حركة مطلقة فيه .

وانطلاقا من ذلك لم يعد في إمكان منقذي فكرة الحركة المطلقة إلا الالتجاء إلى الصورة التالية : فضاء يملؤه وسط لا تدركه الحواس . وذلك الوسط يظهر نظام الاحداثيات الذي يحويه في حالة السكون . وهذا بالضبط

هو الدور الذي كان يعزى للأثير . وما دام هناك أثير فإن هناك أيضا حركة مطلقة يمكن تحديدها دون اللجوء إلى ربطها بأجسام أخرى ، حركة يقوم بها الجسم بالنسبة للأثير .

لكن تبين ألا وجود للأثير ومن ثمة فقدت فكرة الحركة المطلقة محتواها . فإذا ما قلنا إن جسما ما يتحرك فإن معاينتنا ليس لها إلا معنى نسبي . فالجسم ليست له حركة لذاته . وكل ما نستطيع اثباته هو أن موضعه بالنسبة لأجسام أخرى قد تغير . فالأجسام المستعملة في ضبط تلك العلاقات تضبط في شكل نظام احداثيات يمكن مقارنته بالهيكل العظمي باعتبار محاوره المتوازية الثلاثة .

مبدأ النسبية :

ماذا يؤكد مبدأ النسبية ؟ قبل البحث عن معناه يجدر بنا التذكير بأن قانونا طبيعيا يفرض أن نربط موضع الجسم في الفضاء وحركته التي يضبطها القانون ، بنظام احداثيات دقيق فإذا لم يستجب لذلك الفرض ، أفرغ القانون من محتواه . لنأخذ مثلا القانون الأساسي للميكانيكا ، ذلك القانون القائل بأن كل جسم غير خاضع لأية قوة يكون إما ساكنا أو متحركا بسرعة ثابتة في خط مستقيم وما دمنا نجهل إلى أي نظام احداثيات ترجعنا الألفاظ «سكون» «سرعة» و «مستقيم»، فإننا نجهل ما يريد ذلك القانون اثباته بالضبط ومن المستحيل أن يكون ذلك القانون قائما بالنسبة لكل نظم الاحداثيات مهما كانت بل يمكننا المراهنة على أنه سوف لا ينطبق على نظام اعتباطي تختاره وهكذا لا نستطيع اعتماد مرجع نرجع إليه يكون موصولا بالأرض وصلا متينا لأن الجسم إذا ما ترك حرا بالنسبة لذلك المرجع أي الأرض ، لا يمكن أن تكون حركته مطابقة تماما للحركة المستقيمة . فالأمر لا يصح

إذن لا بالنسبة لبعض نظم الاحداثيات دون سواها.والسؤال المطروح عندئذ عند تحديد ما يدخل في مشمولات النسبية ، هو كيف نعرف ما يمكننا فيزيائيا من ضبط تلك النظم المتمتعة بصفات خاصة .

لقد أجبنا جزئيا عن ذلك السؤال فالمادة التي تملأ الفراغ هي وحدها التي تجعل نظام احداثيات ما شرعيا وليس الفضاء في حدّ ذاته ولا الأثير . فكل تلك النظم إذن مشتقة من المادة التي تعمر الكون تلك المادة التي يسبغ كل توزيع لها في نقطة من نقاط الفضاء ، صفات خاصة ، على نظام إحداثيات محدد تحديدا كاملا وبعبارة أخرى إن النظم التي يجب ربط الظواهر بها ليست معطيات مطلقة بل انها تستمد نجاعتها من ارتباطها بأشياء موجودة في العالم وهذا هو التصور الذي يشكل مبدأ النسبية .

التصور المطلق والتصور النسبي للقوى النابذة :

لنتساءل ـــ قصد توضيح الفرق بين النظرية المطلقة والنظرية النسبية-كيف أن الأرض مسطحة.نحن نعلم أن تسطحها ناتج عن دورانها اليومي . فذلك الدوران يحدث قوى نابذة تتسبب بدورها في تنقل مستمر بطيء للكتل من القطبين نحو خط الاستواء وهذا لا شكّ صحيح إلا أن سؤالا يبقى مطروحا : تدور الأرض بالنسبة لماذا ؟ عند هذا الحد ، تفترق النظريتان المطلقة والنسبية . فحسب النظرية الأولى تدور الأرض بالنسبة للفضاء ذاته وبذلك نضفي على الفضاء ما يشبه صفة المادة بحيث يسمح باتخاذ نظام مرجع معين لا تأثير فيه لبقية الأجسام التي يتركب منها الكون فلا دخل لها حينئذ في ظهور القوى النابذة ، ثم إن تلك القوى ـــ حسب النظرية المطلقة ـــ تظهر حتى لو كانت الأرض هي الجسم الوحيد في فلك فارغ فراغا كاملا. أما النظرية النسبية فتعرض علينا تصورا يختلف كل الاختلاف عن التصور

السابق . فحسب هذه النظرية ، كل الاجرام السماوية التي يحويها الكون ــ باستثناء الأرض ــ تكون نظام احداثيات من صفاته أن قوى نابذة تتسلط على الجسم أثناء دورانه بالنسبة لذلك النظام . وهكذا تبدو القوى النابذة من عمل دوران ذلك الجسم بالنسبة للأجسام الأخرى أي أن مصدرها نسبي صرف . فبالنسبة للقوى النابذة لا يهم أن تدور الأرض وتسكن السماء أو العكس بالعكس إلا أن هذا الاقرار يبدو صعب القبول لأننا تعودنا أن نتصور حركات الدورات كحركات مطلقة .

مبدأ النسبية في الميكانيكا :

لم يصل « اينشتاين » من أول وهلة إلى ما عرضناه منذ حين فلقد اكتشف سنة 1905 نظرية النسبية المحدودة فقط وهي اليوم مقبولة اجمالا وإليها يذهب بنا التفكير عادة عندما تطرح مسألة النسبية . فالأمر كان يتعلق بتعميم مبدأ عرف منذ زمن بعيد قبل اينشتاين وكان يفسر أحد الأوضاع الكبرى في الميكانيكا . وقد سبق أن ذكرنا ألا قيمة لقوانين الميكانيكا إلا عندما نربط حركات الجسم بنظام احداثيات معين . وهكذا لا تكون الأرض نظاما مرجعا ذا قيمة بل لا بد من اللجوء إلى اختيار نظام احداثيات آخر يكون مركزه في الشمس وتكون محاوره متجهة دائما نحو نفس النقاط أي نحو النجوم القارة أو بعبارة أدق لن نستطيع ــ دون مخالفة قوانين الميكانيكا ــ اختيار جسم آخر غير ذلك الذي تكون سرعة تحركه بالنسبة للمرجع المعين سابقا ، سرعة مستقيمة منتظمة وهكذا تصبح لذلك النظام أيضا صفات النظام الأساسي . ونعني به نظاما ينطبق عليه قانون الجمود في الميكانيكا .

وليس معنى هذا أن للميكانيكا نظام احداثيات وحيدا بل أن هناك عددا لا متناهيا من الأنظمة كلها صالحة وتنطبق عليها هذه المقولة المميزة لمبدأ النسبية في الميكانيكا : « عندما يكون نظام احداثيات معين نظاما أساسيا

لنسمه (ن)، فإن لكل نظام ($ن^1$) يتحرك بالنسبة لـ (ن) حركة مستقيمة منتظمة نفس صفات النظام الأساسي (ن) » .

وكما هو الحال بالنسبة للمبدأ الاينشتايني بخصوص النسبية المحدودة ليس الأمر هنا عملا نفرضه على الطبيعة فننظر هل أنها ستحققه أم لا . بل يتعلق الأمر بمعطيات يمكن البرهنة عليها وبالفعل تتكون القوانين الأساسية في الميكانيكا من مقولات إذا صلحت بالنسبة للنظام (ن) فإنها تصلح أيضا بالنسبة لأي نظام آخر ($ن^1$) . لنأخذ مثلا مبدأ الجمود فهو يقول بأن كل جسم لم تسلط عليه قوة يكون ساكنا أو متحركا حركة مستقيمة منتظمة. فإذا ما أخذنا بصحة المقولة بالنسبة للنظام الأحداثي (ن) فإنها ستكون أيضا صحيحة بالنسبة للنظام ($ن^1$) لأن الحركة المستقيمة المنتظمة تحتفظ فعلا بهيئتها عند ربطها بنظام الاحداثيات . فإذا كانت عربة تسير بالنسبة للأرض بسرعة مستقيمة منتظمة فإنها ستكون على ذلك النحو أيضا بالنسبة لقطار قادم من الاتجاه المعاكس مع افتراض أن سرعته هو أيضا منتظمة .

لقد نعتنا المقولة بمبدأ النسبية لأنها تشير إلى أن معنيي السكون والحركة ليسا مطلقين في ميدان الميكانيكا . فمن وجهة النظر هذه تبدو كل الأنظمة فعلا متساوية القيمة وهي التي لا يحصى عددها ولنا الحق في أن نعتبر كلاّ منها المرجع المطلق الثابت في الفضاء . لنتصور سفينة في مسار مستقيم منتظم ولنحبس شخصا في غرفة من غرفها بدون نافذة ولنزوده بكل الآلات الميكانيكية الضرورية ثم لنطلب منه اكتشاف حركة السفينة بالاعتماد على بحوث ميكانيكية بحتة . سيكون عاجزا عن التوصل إلى ذلك لأن كل محاولاته ستقع وكأنه يقوم بها على ظهر اليابسة .

لقد انتهى المطاف باينشتاين إلى الاعتقاد بأن مبدأ النسبية الذي كنا نعرضه منذ حين لم يكن صالحا للميكانيكا فقط بل هو صالح لكل الظواهر الطبيعية . فإذا تعلق الأمر بإجراء تجارب أخرى كالتجارب الضوئية على سبيل المثال كان اينشتاين متيقنا أنه من المستحيل أن يتمَيز أحد الأنظمة المراجع في الميكانيكا بصفة النظام المطلق الثابت في الفضاء وإلا فإنه لا بد من وجود شيء يشبه الفضاء المطلق أو الأثير حتى يبرر وجود نظام احداثيات قار ، وهذا افتراض تدحضه الأدلة المطروحة آنفا .

فكل شيء يحمل على الاعتقاد إذن بأن اينشتاين كان على حق عندما أقر صحة مبدأ النسبية في كل القوانين الطبيعية ثم إن صعوبة لا يمكن تجاوزها ظاهريا جعلت ذلك الأمل يبدو مستحيلا من جهة أخرى . ماذا حدث لقانون انتشار الضوء ؟ فتجربة « مايكلسون » أدت إلى الجزم بأن الضوء ينتشر في كل الاتجاهات بنفس السرعة بالنسبة لنظام احداثيات (ن) حسب دورة الأرض حول الشمس فإذا ما وثقنا في مبدأ النسبية فإن (ن) يكون مطابقا من كل النواحي لأي نظام آخر (ن [1]) يتحرك بالنسبة للنظام الأول حركة مستقيمة منتظمة . ومعنى ذلك أن الضوء يجب أن ينتشر بنفس السرعة في كل الاتجاهات بالنسبة للنظام الجديد (ن [1]) أيضا لكن كيف يصبح ذلك ممكنا ؟ فانتشار الضوء لا يمكن أن يبدو بنفس الطريقة بالنسبة لمراقبين يسير أحدهما في اتجاه الآخر . فإذا ما أحدثنا على سطح البحيرة موجة تتنقل في شكل دائري فإن سرعة تنقل الموجة ستبدو بالضرورة مختلفة باختلاف الاتجاه الذي يتوخاه القارب وقد حمل أحد المراقبين وضبطت القياسات باتخاذ القارب مرجعا .

على أن يقين اينشتاين لم يتزعزع كما أن الاعتقاد بوجود نظام مرجع مطلق غير مقبول منطقيا ومع ذلك كان لا بد من ايجاد وسيلة للخروج من المأزق .

ولقد اهتدى اينشتاين إلى العثور على تلك الوسيلة إلا أنه أثناء بحثه اضطر إلى ابداء آراء غريبة جريئة تتنافى بصفة حادة وطريقة التفكير السائدة في ذلك العهد . فلقد بدا من الضروري الغوص في جذور كل المعارف الانسانية والاستنجاد ببعض الأفكار التي كان قد قدمها « ارنست ماخ » بغية الوصول إلى الهدف.« فماخ » يمكن اعتباره رائد التفكير الايجابي في الفيزياء الحديثة. فقد رفع عاليا مبادىء لم تؤثر على سير الأمور في الفيزياء مستقبلا فقط بل جعلت ذلك السير ممكنا ثم أعاد بعد ذلك صياغة تلك المبادىء فلاسفة مدرسة فيان ، ونخص بالذكر منهم لدويغ فيتنغشتاين فصقلوها وكان أهم ما نادت به تلك المدرسة هي ألا يعتبر في الفيزياء إلا المقولات التي يمكن اثباتها أي التي تمكن التجربة ـــ مبدئيا على الأقل ـــ من التأكد من صحتها أو بطلانها . وهذا يفترض ـــ كما سبق أن أشرنا إليه ـــ تحديدا لكل مفهوم يتضمنه قانون فيزيائي معين بحيث تستطيع التجربة التعمق في معنى ذلك المفهوم.ثم إن ذلك المفهوم لا بد من أن تكون له علاقة ببعض المعاينات فإذا لم يتوفر ذلك ، أصبح المفهوم فارغ المحتوى وحينئذ لن يصلح للاستعمال في مقولات لها معنى . ومفهوم الأثير مثل ذلك ، له دلالة خاصة. فلقد كان نظرية لغاية النظرية لا تتمخض على أي شكل من أشكال التجربة .

إن نظرية النسبية تنبع من نقد لنظرية كانت تعتقد كاملة طيلة قرون ولكن فحصا دقيقا أظهر فراغها . ولقد اصطدم اينشتاين ، أثناء تفكيره بالصعوبة التي اعترضته فحاول تجاوزها ، بمفهوم لم يحفل به أحد لحدّ ذلك الوقت

لأن ذلك المفهوم في الظاهر لم يكن محتاجا لأي تفسير . كانت المسألة تتعلق بتزامن حدثين يحدثان في موضعين مختلفين . وتاريخ نظرية النسبية هو تاريخ ذلك المفهوم الذي بدا أنه لم يعد طبيعيا كما كان يتصوره الناس من قبل .

تعديل ساعتين وضعتا في مكانين مختلفين :

لماذا كان لمفهوم التزامن في نظرية النسبية ذلك الدور الهام ؟ إذا أردنا فهم ذلك لا بد من الرجوع إلى المشاكل الذي وجد اينشتاين نفسه أمامها. فحسب مبدأ النسبية كما وضعه « اينشتاين » يجب أن يكون انتشار الضوء نسبيا بالرجوع إلى نظامين (ن ون ') يتحرك أحدهما بالنسبة إلى الآخر حركة مستقيمة منتظمة فكيف تعجز الطبيعة عن تسديد تلك الضرورة ؟ ليس هناك حسب اينشتاين إلا سبيل واحدة لحل المشكل هو أن نفترض أن المراقبين المرتبطين بذينك النظامين يفكران حسب أزمنة مختلفة فكيف يمكن في هذه الحالة ، انقاذ مبدأ النسبية ؟

إن الأمر في الفيزياء يتعلق دائما بايجاد علاقة بين الأحداث فإذا ما نظرنا مثلا في انتشار الضوء فإن الأحداث هنا تتعلق بوصول الاشارة الضوئية إلى عدة نقاط من الفضاء . فالحدث يرتبط دائما باحداثياته الفضائية الثلاث المتعلقة بموضعه في الفضاء ، وبالزمن الذي تبينه ساعة وضعت في نقطة من النقاط التي وقع فيها الحادث فلا بد للفيزيائي — عند قيامه بعمله — من اتخاذ التدابير التالية :

1) قيس الأبعاد الفضائية بواسطة معيار وربطها بكل نقطة في الفضاء .

2) وضع ساعة في كل نقطة من تلك النقاط مع افتراض أن الساعات المستعملة لذلك الغرض متواقتة وأنها تسير سيرا متطابقا . وبالاضافة إلى كل ذلك

لا بد من أن يكون نظام الاحداثيات الذي يرجع إليه المجرب في قياساته نظاما ساكنا . فإذا ما اعتبرنا نظامين (ن ون [1]) فإن لكل منهما مجموعة ساعات تتحرك بالنسبة لساعات النظام الآخر . ومعنى ذلك أن هناك زمنين مختلفين لحدوث حدث وحيد تشير إلى أحدهما الساعة المرتبطة بالنظام (ن) وتشير إلى ثانيهما الساعة المتصلة بالنظام (ن [1]) .

إلا أن الأمر لا ينتهي عند هذا الحد بخصوص التواقت . فالساعات المرتبطة بنظام احداثيات واحد يجب أن تكون معدلة أي يجب أن تكون عقاربها متطابقة تطابقا كاملا . وعند ذلك فقط يمكن القول بأن حدثين اثنين يحدثان في موضعين مختلفين هما متواقتان أم لا . وهكذا نصل إلى المفهوم الذي اعتبره اينشتاين حاسما في اعداد مبدأ النسبية .

إن تواقت حدثين يحدثان في موضعين مختلفين يكون قد حصل وحدد حالما نتمكن من التيقن من أن تعديل الساعات لا شائبة فيه . فالمسألة إذن كيف ننقل الوقت المرسوم في ساعة وضعت في المكان م1 إلى ساعة وضعت في المكان م2. إن الأمر يبدو من الوهلة الأولى سهلا : ليس لنا إلا تناول ساعة وتعديلها على الساعة الموضوعة في النقطة م1 ثم الانتقال إلى النقطة م2 لتعديل الساعة الموضوعة بها على الساعة التي أخذناها معنا وعدّلناها على الساعة الموضوعة في النقطة م1. إن مثل هذه العملية يمكن الطعن فيها لأنها تعتمد افتراضا لم نبرهن عليه ولا نستطيع أن نبرهن عليه هو أن سير الساعة لم يتغير بفعل التنقل . رغم أنه من الممكن أن نتصور أن سير ساعة منقولة يختلف عن سير ساعة مكثت ساكتة في مكانها . بيد أنه من المستحيل القيام بعملية مراقبة في ذلك لأن سير الساعة المنقولة لا تمكن مراقبة إلا باستعمال ساعة وقع تعديلها بعد .

إن طرقا أخرى للتعديل ممكنة ولكننا سنكتشف ــ كما هو الحال دائما ــ أن الافتراضات العشوائية لا يمكن البرهنة عليها ولا تؤدي إلى نتيجة . فلا بد لنا من وضع حدّ لتلك العمليات لأن أي افتراض لا يكون مرضيا إلا إذا أدى إلى تعديل في الساعات لا يمكن الطعن فيه وسمح ــ بعبارة أخرى ــ أن يكون للعقارب في كل ساعة وضع محدد تحديدا محكما . إننا سنكون قد خطونا الخطوة الحاسمة عند اختيارنا الافتراض التالي : « ينتشر الضوء بالنسبة لنظام احداثي أساسي بنفس السرعة في كافة الاتجاهات » .

ومن الواضح أن افتراضنا هذا لا يمكن أن نبرهن عليه في وضعه الحالي لأنه لا بدّ لنا ــ إذا ما أردنا التحقق من صحته ــ من قيس السرعة التي تنتشر بها اشارة ضوئية في اتجاه ما . إلا أن مثل ذلك القيس يفترض معرفتنا للأوقات التي تمر فيها الاشارة بكل نقطة من نقاط المسار . وبما أنه لا بدّ لنا من رصد الزمن بواسطة ساعات توضع في تلك النقاط فإن التجربة تقتضي أن تكون تلك الساعات قد عدّلت قبل ذلك وأن يكون تعديلها ممكنا لكننا ــ من أجل ذلك ــ لا نستطيع البرهنة على صحة افتراضنا. إلا أننا نستطيع اعتباره صحيحا ما أدى بنا إلى تعديل لا يتقيد في حدّ ذاته بأية تناقضات .

فما الذي يحدث إذن اعتمادا على افتراضنا ذلك ؟ إن التجربة بسيطة. لنفرض وجود الساعتين الموضوعتين في النقطتين ن1 ون2 ولنضع بالقرب من كل واحدة شخصا يمكنه الاتصال بزميله على النحو التالي : عندما تعلن ساعة الشخص الماثل بالنقطة ن1 عن الوقت ويبادر بارسال اشارة ضوئية الى زميله فتصل إليه في النقطة ن2 وحينئذ يقوم بتعديل ساعته هو الآخر على الوقت و+$\frac{ط}{c}$ حيث تمثل ط المسافة الفاصلة بين النقطتين ن1 ون2

ويمثل c سرعة الضوء . وبذلك تكون الساعة الموضوعة في النقطة ن2 معدلة على الساعة بالنقطة ن1 وبهذه الطريقة يمكن تعديل كل الساعات المتصلة بالنظام ن ويمكن القول بأن تعديل الساعات في ذلك النظام قد أضفت عليه الخاصية التالية : « إن الضوء بالنسبة لذلك النظام ينتشر في كل الاتجاهات بنفس السرعة » ومن الطبيعي ألا يكتسب أي نظام احداثيات تلك الخاصية ما عدا النظام المتميز بها ...

لحد الآن لم نحسم الأمور فنحن لم نكن نجهل أن هناك نظاما وأن انتشار الضوء بالنسبة لذلك النظام انتشارا مستقيما قانون قائم . ولكننا توصلنا الآن إلى مبدإ النسبية القائل بأن كل الأنظمة المتحركة بالنسبة للنظام ن حركة مستقيمة منتظمة هي مكافئة له . فإذا كان الأمر كذلك فإنه من الواجب تعديل الساعات في كل الأنظمة ★ وهكذا نفهم الآن ما كان بادىء الأمر غير مفهوم : ونفهم كيف أن الضوء بالنسبة لنظامين احداثين متحركين يتمكن من الانتشار حسب نفس القانون . وليس هذا ناتجا عن قدرة غريبة في الضوء بل هو ناتج عن هيئة خاصة للنظام الاحداثي تمكن من أن نفرض فيه قانونا موحدا لانتشار الضوء وذلك بتعديل معين نجريه على الساعات المرتبطة بذلك النظام .

المعنى النسبي لمفهوم التواقت :

لم تكن المعارضة الشديدة التي لاقتها نظرية النسبية في سنواتها الأولى، تتحرج البتة من رفع أصابع الاتهام في اتجاه مفاهيم بالية . فقد أكدنا عرضا على أن اينشتاين كان يتشبث بألا تستعمل إلا مفاهيم يمكن التثبت من

★ المتكافئة ن1 ، حتى ينتشر الضوء بالنسبة لها بنفس السرعة ، في كامل الاتجاهات .

صحتها عن طريق التجربة . ولذلك نراه يلتجىء في تحديد التواقت ، إلى تصوّر الساعات المعدلة عن بعضها حسب خطة مسبقة . والطريقة كانت تبدو مقبولة آخر الأمر لو لم تؤد إلى نتيجة اعتبرت غير مقبولة : فقد نتج فعلا عن تلك الطريقة أن الشخصين المرتبط كل منهما بأحد النظامين الاحداثيين (ن ون1) اللذين يتحرك أحدهما بالنسبة للآخر ، لا يفكران نفس التفكير بخصوص تواقت حدثين يحدثان في موضعين مختلفين فالأحداث المتواقتة في النظام (ن) ــ بمعنى أن الساعات المرتبطة بذلك النظام تشير إلى نفس الوقت في أية نقطة من نقاطه ــ لا تحدث في نفس الوقت ، أغلب الأحيان ــ بالنسبة لشخص ينتمي للنظام الاحداثي (ن1) وينظر إلى الوقت حسب ساعات ذلك النظام .

لا شيء أجدّ من تلك الفكرة القائلة باختلاف تحسس التواقت الذي يفسر بفرق في تعديل الساعات عند الانتقال من نظام احداثي إلى نظام آخر . فقبل اينشتاين لم يكن الشك يساور أحدا في أن «الآن» في مكان ما تعني « الآن » في أي مكان آخر من الكون كله . وهذا ما يزال صحيحا إلى يومنا هذا في نظر كل من لم يسمع عن نظرية النسبية شيئا. وهذا الاعتقاد الراسخ بعيد كل البعد عن البساطة ويمكن أن يستنجد فيه بتجربة يبدو أنها تعطي المفهوم معنى واضح التحديد . وقد نندهش فعلا لضرورة استخدام الأشعة الضوئية في نقل الوقت من موضع إلى آخر . فالضوء لا شك سريع ولكنه يحتاج رغم ذلك في انتشاره إلى شيء من الوقت . فلماذا لا يوجد في الطبيعة أفعال تنتقل في الفضاء بسرعة لا متناهية ؟ مبدئيا ، لا شيء اطلاقا يمكننا من رفض مثل ذلك الافتراض . وإذا كان مثل تلك الأفعال ممكنا فهو الذي يشكل الوسيلة المثلى لتعديل الساعات في نظام ما ، لا الضوء وتكون النتيجة

حينئذ أن مفهوم التواقت لن يرتبط بنظام احداثي بل سيتخذ عندئذ معنى آخر مطلقا .

وليس الأمر في الواقع إلا تعجيزا بما أنه لا وجود في الحقيقة لأفعال من ذلك القبيل فالجسم مهما كان لا يستطيع أن يحدث في وقت ما وعن بعد فعلا ما في جسم آخر إلا بالتدرج وبواسطة طريقة ما . لذلك كان نقل الوقت بواسطة اشارات لا متناهية السرعة أمرا لا يمكن تحقيقه . ثم إن سرعة الضوء هي أعلى سرعة معروفة لحد الآن . ومهما يكن الأمر حتى لو اكتسب الجسم سرعة تفوق سرعة الضوء فإن سرعته ستبقى لا محالة محدودة.وعلى كل من الواضح أن هذه الملاحظة وإن جدت لا يمكن أن تهم أي نظام احداثي إذ أنها ستعود بنا حتما في هذه الحالة إلى فكرة نظام احداثي يتحرك بالنسبة لجسم معين بسرعة تفوق سرعة الضوء،فنحسب ـــ باعتبار ذلك النظام الاحداثي ـــ كأن الجسم قد اكتسب سرعة تفوق سرعة الضوء ، وهكذا يتطلب الافتراض المعني أن نفهم من حركة جسم ما على أنها حركة بالنسبة للنظام الاحداثي الذي ينطبق فيه قانون انتشار الضوء انتشارا منتظما في كافة الاتجاهات .

دور سرعة الضوء c :

لقد نظمت الطبيعة حينئذ حسب نظرية النسبية بطريقة تجعل كل الأنشطة فيها راجعة إلى ثابت معين هو سرعة الضوء (C) والأصل في هذا الاختيار هو المبدأ القائل بأن الطبيعة تأبى أن ينتقل فعل ما من نقطة إلى أخرى في الفضاء بسرعة تفوق سرعة الضوء ـــ سواء أكان ذلك بواسطة جسم متحرك أو بواسطة انتشار حقل ما . إن هذه المقولة التي استخرجها اينشتاين من مبدأ النسبية هي في الحقيقة أهم من المبدأ نفسه . فهي تعرض علينا فكرة أكثر دلالة

من معرفة أي قانون طبيعي محدود لأنها ترجعنا إلى قوة معدلة صالحة لكل القوانين الطبيعية نتيجتها أن تنقل أي فعل بسرعة تفوق سرعة الضوء أمر — بكل بساطة — غير مقبول .

فمن الضروري توضيح ما تعنيه تلك الفكرة . إنها تعني أن كل القوانين الطبيعية التي يمكن أن يضعها الفيزيائي يجب قبل كل شيء أن تخضع للمراقبة قصد التأكد من أنها لا تسمح لأي حدث ممنوع بأن يحدث . فإذا لم يخضع القانون لذلك الشرط فمعنى ذلك أنه يتعارض ومبدأ النسبية ويجب حينئذ ادخال بعض التحويرات عليه حتى يصبح على وفاق مع ذلك المبدأ .

ذلك كان مصير كل قوانين الميكانيكا النيوتنية الكلاسيكية فقد كانت تجهل أن السرعة محدودة فحسبت أن في الامكان اكساب أي جسم أية سرعة تريد، عندما يكون عرضة لفعل قوة دائمة تسلطعليه . فحسب تلك القوانين يكون فعلا تزايد سرعة الجسم المعرض لتأثير قوة ما ، مساوية لتلك القوة مقسومة على كتلة الجسم أو بعبارة أخرى لا تتطلب القوة عندئذ إلا الوقت الكافي لرفع سرعة الجسم الى الحد المطلوب وهذا ما لا تستطيع نظرية النسبية الا تقويضه. فاضطرت من أجل ذلك الى تعديل مسبقات نيوتن . وهي مسبقات تبقى صالحة طالما أن السرعة صغيرة صغر السرعات التي تعترضنا في نطاق الفيزياء الكلاسيكية بيد أن لتلك السرعات حدا أقصى لا يمكن أن تتجاوزه هو سرعة الضوء . فكان من نصيب اينشاتين أن حقق ذلك البرنامج وطور مبادىء الميكانيكا النسبية تلك المبادىء التي أكد صحتها تطبيقها على حركات الالكترون السريعة جدا أو على حركات القسيمات الأولية فلم يعد هناك مجال للشك فيها .

وهكذا كشفت الميكانيكا الجديدة الغطاء عن أشياء عجيبة جدا لم يكن أحد يتصورها وسينجر عنها أصداء لم يسمع بها من قبل . فلقد بدأ مفاجئا منذ البداية أن تلتجىء قوانين الميكانيكا النسبية الى سرعة الضوء (C) إذ ما هو وجه العلاقة بين الضوء والميكانيكا ؟ إن أية حركة لا يمكن أن تفوق سرعتها سرعة الضوء (C) فكان لا بد من إدخال سرعة الضوء في قوانين الميكانيكا كثابت هو أقصى حد للسرعة . إلى هنا كان ذلك مفهوما . إلا أن أحدا لم يكن يستطيع انتظار شيء آخر ، هو أن ذلك الثابت (C) سوف لن يقف عند تحديد السرعة بل أنه سيصبح كالعصا السحرية فتتحول الكتلة الى طاقة. ففعلا قد مكن القانون الأساسي الجديد للميكانيكا من استنتاج فكرة اينشتاين المعروفة الآن القائلة بأن كتلة الجسم (ك) تخفي طاقة (ط) بحيث يمكن استخراج المعادلة ط = ك $(C)^2$ فالكتلة لم تعد ذلك الشيء الذي كنا نحسبه ميتا بل أصبحت تمثل طاقة راكدة يمكن تحويلها إلى طاقة حية عندما نعرف كيف نعالجها. إن تعادل الكتلة مع الطاقة حسبما تبينه المعادلة ط = ك $(C)^2$ التي يرتكز عليها انتاج الطاقة الذرية يشكل دون شك — أكبر اسهام لنظرية النسبية في الفيزياء . فحسب تلك المعادلة ، لا نجد فقط أن لكل كتلة طاقة بل نجد أيضا أن لكل طاقة كتلة والحق أن تلك الفكرة لم تكن جديدة تماما . فقد توصل الفيزيائي هزنوهرل أصيل مدينة فيانا بالنمسا ، دون أن يلتجىء إلى نظرية النسبية إلى أن فضاء فارغا تنتشر فيه أشعة أي ينتشر فيه جسم لا كتلة له البتة هو فضاء يمتلك كتلة ما تتناسب ومربع سرعة الضوء مقسوما على الطاقة التي تبثها تلك الأشعة ولم يعتمد الفيزيائي النمساوي في ذلك إلا على الكهرديناميكا الكلاسيكية . ولكن نظرية النسبية هي التي بينت من بعد العلاقة التي تربط الكتلة بالطاقة والتي تعبر عنها تلك المعادلة. ومما لا

شك فيه أن تلك المعادلة بقيت تنتظر وقتا طويلا قبل أن تثبت التجربة صحتها فقد ظهرت صحتها عندما تم ابراز تحولات النواة تلك التحولات التي بينت أن الطاقة المتفجرة المصاحبة لها قد عوضت فعلا اندثار كتلة مكافئة لتلك الطاقة .

كانت الفيزياء الكلاسيكية تنظر إلى كتلة الجسم كشيء ميت يثقله ويعوقه عن الحركة وكانت قيمتها ثابتة ويمكن تجزئتها ولا يمكن أبدا أن تزيد أو تنقص . فها أن القانون القائل بأن المادة لا يمكن أن تندثر قد أصبح محدود الصحة بفعل نظرية النسبية فلا يستطيع أن يضيع من المادة إلا ما حول منها إلى طاقة ، هذا من ناحية ومن ناحية أخرى يبدو حسب قانون التكافؤ أن كتلة الجسم تتزايد عند تزايد سرعته وأن طاقته حينئذ ترتفع إلا أن ذلك التزايد لا يصبح ملموسا إلا عندما تقارب السرعة سرعة الضوء . إن الكتلة الوحيدة التي لا تتأثر بالسرعة هي كتلة الجسم أثناء سكونه . إلا أن قانون البقاء ها هنا أيضا ، ينتفي ، فالكتلة قد تندثر نتيجة تأثير بعض الظواهر كالاشعاع مثلا . بل قد يحدث العكس فتظهر كتلة من لا شيء وهذه ظاهرة تبرز مثلا عندما يولد الاشعاع الكترونا وبوزترونا معا .

إن قانون التكافؤ يعني تحقيق خطة كان فلاسفة الطبيعة قد وضعوا أسسها من سنين قبل ذلك في **تصورهم الديناميكي للمادة** ذلك كان تصور شلينغ خاصة عند دفاعه عن أن المادة ناتج القوة ومعنى ذلك أن القوة تحل المادة . إلا أن التعبير الضبابي الغامض عن تلك الفكرة لم يمكّن من ابرازها إلى الواقع . فكانت نظرية النسبية هي السباقة إلى تصور الفكرة تصورا دقيقا وجعلها قانونا طبيعيا يمكن التأكد من صحته عن طريق التجربة .

استحالة وجود جسم كامل الصلادة :

إن الاقرار بأن الكتلة والطاقة متكافئتان أدى إلى ظهور ميكانيكا جديدة نفت من أول وهلة ونظرا لطبيعة تكوينها ، فكرة وجود حركة تفوق سرعتها سرعة الضوء . فمصيرها إذن مرتبط بمصير القانون القائل بأن كل فعل لا يمكن أن يحصل بسرعة تفوق سرعة الضوء لكن هل نحن على يقين من ذلك ؟ إن هذا فعلا هو ما كان يناقشه خصوم نظرية النسبية العديدون دون تسامح فقد بدا لهم أن لا شيء أسهل من تصور عمليات يمكن أثناءها انتقال فعل من نقطة إلى أخرى في الفضاء في نفس اللحظة.لنأخذ مثلا عصا كاملة الصلادة ولنضعها بين النقطتين م1 و م2 اللتين تفصل بينهما مسافة معينة نختارها . إن تلك العصا تشكل وسيلة اتصال أسرع من التلغراف لأن كل صدمة نحدثها في رأسها تحس بها في نفس اللحظة مؤخرتها وهكذا إذن يمكن نظريا نقل الاشارات على طول المسافة التي نريد بسرعة مرتفعة جدا وذلك بواسطة جسم صلود .

فإذا أرادت نظرية النسبية دحض هذه الحجة لا بدّ لها من البرهنة على ألا وجود لجسم كامل الصلادة في الطبيعة.إن كل جسم عرضة للتشوه فعلا، من حيث أنه يتركب من عدة ذرات . ومواضع الذرات عرضة للتغير كما هو الحال عند الضغط على جسم . فتجربة العصا السابقة تقع في الواقع على النحو التالي : لا تنتقل الصدمة المحدثة في النقطة م 1 في اللحظة نفسها ، إلى كامل أجزاء العصا بل تحدث موجة مطاطية تنتشر من النقطة م 1 إلى النقطة م 2 بسرعة صغيرة لا تمكن مقارنتها بسرعة الضوء .

قانون النسبية المعمّمة :

إن قانون نظرية النسبية المحدودة الذي تحدثنا عنه لحد الآن يؤكد أن القوانين الطبيعية إذا صحت بالنسبة للنظام ن فإنها تصح دون أي تغيير فيها

بالنسبة لكل نظام ن1 يتحرك بالنسبة للأول حركة مستقيمة منتظمة . على أن ذلك القانون يترك جانبا مسألة أساسية تنحصر في السؤال التالي: ما الذي يحدد في الطبيعة النظامين ن ون1 ؟ فهما نظامان لم يتم اختيارهما اعتباطا . ودون أن نحتاج إلى تعديد الأمثلة ، لننظر في القانون الأساسي للركود ، ذلك القانون القائل بأن كل جسم لا يخضع لأية قوة فهو إما ساكن أو متحرك حركة مستقيمة منتظمة . فهذا القانون لا ينطبق على أي نظام احداثي نختاره ويجب إذن أن يوجد في الطبيعة مبدأ فعال يلصق بكل نظام احداثي معين معنى مختلفا وستحاول نظرية النسبية المعممة البحث في مسألة ذلك المبدأ .

لقد انطلقت النظرية من الفكرة التالية : ليس الفضاء الفارغ كما كان يعتقد نيوتن ـــ هو الذي يكرس في كل لحظة وفي كل موضوع ، شرعية نظم إحداثية مختلفة فيزيائيا . بل هي المادة الموزعة في ذلك الفضاء أو بعبارة أخرى إن حركة الأجسام بالنسبة لبقية الأجسام الأخرى المتبقية في ذلك الفضاء هي التي تتضمن القوانين المحددة البسيطة .

وهكذا تجد النظرية نفسها وجها لوجه مع عمل ـــ لا شك ـــ أساسي : باعتبار توزع المادة في كل نقطة وفي كل لحظة لا بدّ لها من اكتشاف أي النظام سيكون النظام الأساسي (أي النظام الذي سيترابط به قانون الركود) بالنسبة للمحيط المباشر للنقطة المعينة .

النسبية والجاذبية :

وانطلاقا من هنا أصبحت نظرية النسبية تواجه مشكل الجاذبية لأن الجاذبية من فعل المادة من حيث أن كل المادة الموجودة في الفضاء تحدث في كل نقطة قوة تتسلط على الكتلة الموجودة بها. أهو فعل ثان لا يرتبط بوجود النظام الأساسي؟ أم هي المادة ـــ وهذا السؤال يرجع الفضل في طرحه

لانشتاين ـــ قد أحدثت أيضا حقل قوة الجاذبية ، من جراء النظام الأساسي الذي وضعته ؟ ألم نكن مخطئين في مصدر الجاذبية عندما ربطناها بم اعتقدنا أنه نظام أساسي في حين أنه قد يكون غير ذلك ، وأضفينا عليه خطأ قدرة حقل القوة ؟ لننظر عن كثب في قوة الجاذبية في نقطة ما من سطح الأرض . إنها تتسبب في سقوط كل جسم ، في اتجاه مركز الأرض . فنفترض–عن حق ـــ أن الأرض وحدها هي التي تستطيع اجبار الأجسام على اتباع تلك الحركة لكن كيف يكون ذلك ؟

بإمكاننا ها هنا أن نتصور حلين : الحل الأول ، لنيوتن وهو أن الأرض والأجسام تتجاذب ولم يفكر أحد في تفسير آخر قبل مجيء اينشتاين فكيف يجب أن نتصور قوة الجاذبية في الحل الثاني الجديد ؟ إننا نستطيع حقا تناول تلك القوة بالبحث عن ركيزتها في نظام الاحداثيات الذي ننسب إليه عادة حركة السقوط . وعندما نتحدث عن سقوط جسم ما فإننا نعني دائما حركة نحو الأرض أي حركة بالنسبة لنظام مرجع مشدود بصلادة إلى الأرض ، على أنه لا بد لربط تلك الصلة من تطبيق قوانين الميكانيكا على النظام الأساسي المنتمي لتلك النقطة المعينة من الفضاء . فالأرض حسب نظرية النسبية هي التي تحدد ذلك النظام فيكون التفسير الذي يجب أن يقدم في شأن قوة الجاذبية عندئذ **هو أن ذلك النظام ليس ساكنا بالنسبة للأرض بل هو يتحرك بالنسبة لمركزها حركة** يساوي تسارعها تسارع الأرض .

فإذا كان الأمر كذلك فإن حركة السقوط بالنسبة لذلك النظام الاحداثي لا يمكن أن تحدث بل إن كل جسم سيمكث فيه ساكنا . وهـذا يسهل ابرازه بالتجربة.لنتصور مصعدا أثناء نزوله . فإذا كان اينشتاين على حق فإن المصعد يمثل نظاما مرجعا يصح فيه قانون الركود . فإذا تخلينا عن جسم

داخل ذلك المصعد وتركناه يسقط سقوط حرّا ، فإننا سنلاحظ أن ذلك الجسم لا يسقط على الأرض بل سنراه يسبح حرا في الفضاء ومعنى ذلك أن حركة الجسم قد انتفت عندما ربطناه بنظام يضفي على الأرض صفة النظام الأساسي .

وهكذا فتحت النسبية آفاقا جديدة لم تكن متوقعة، في شأن الجاذبية. ولا شك أن الضبط الصحيح للعلاقة القائمة بين النسبية والجاذبية كانت مشقة في منتهى الصعوبة اضطر اينشتاين إلى اعداد وسائل رياضية خاصة قصد تجاوزها وتوصل بعد سنوات من البحث إلى وضع معادلة تبدو كأنها ترسم علاقة ممكنة بين النسبية والجاذبية من حيث أن تلك المعادلة تبرهن على أن التجاذب يجب أن يحصل بين جسمين وأن يتقلص تقريبا بالتناسب عكسا مع مربع المسافة الفاصلة بينهما . بحيث تبقى ميكانيكا الاجرام على حالتها أو تكاد . ويجب أن نفهم هنا من قولنا «تكاد» أن هناك حالة تؤدي فيها الحسابات الرياضية إلى نتائج مغايرة.فسرعة دوران عطارد إذا حددت بتلك الطريقة فاقت بـ43 دقيقة في القرن، سرعتها بحساب الميكانيكا النيوتنية، وهكذا كان الفضل للنظرية الجديدة في ابراز ذلك الفارق الزمني في دورة عطارد .

تأثير حقل الجاذبية على مسار الشعاع الضوئي :

ولعل الأهم من ذلك تأثير الجاذبية ـــ حسب نظرية النسبية ـــ في انتشار الضوء وهو تأثير لم يستطع التصور الكلاسيكي تفسيره. فقد أدت النظريّة إلى أن الضوء يتصرف تصرف الجسم الحر . فحينئذ سيغير وجهته حقل الجاذبية كما يغير وجهة ذلك الجسم.لنعد إلى مثال المصعد وليكن هذه المرة متسارعا إلى أعلى بالنسبة للنظام الاحداثي الأساسي.ففي هذه الحالة يسقط الجسم المتروك حرا نحو الأسفل أو بعبارة أخرى نقول إن حركة المصعد قد ولدت

حقل جاذبية ظاهريا . فلنفرض عندئذ أن شعاعا ضوئيا قد دخل إلى المصعد من أحد جوانبه الأربعة فسينتج عن تزايد حركة المصعد إلى أعلى أن الشعاع عند اجتيازه جانب المصعد يبدو ــ لمن ينظر من الدّاخل ــ كأنه قد اتبع مسارا منحنيا فيبدو للشخص الذي يوجد داخل المصعد أن حقل جاذبية ذلك الشعاع قد جره إلى أسفل .

وللتأكد من صحة تلك الظاهرة في الواقع يكفي أن نراقب النجوم الواقعة في اتجاه قريب من الشمس. فالأشعة التي توجهها نحونا يجب أن تمر من حقل جاذبية الشمس فينتج عن ذلك انحناء الأشعة بالنسبة للشمس فتبدو لأعيننا مواقع النجوم منحازة في الاتجاه المعاكس ولقد أثبتت صحة ذلك فعلا مراقبة كسوف الشمس .

النسبية والهندسة :

مازالت النسبية لحد الآن تعتبر من الفيزياء الكلاسيكية فهي لا شك ترتب مجموع الظواهر الفيزيائية زمنا وموضعا ، بطريقة كلها جدة . إلا أنها على عكس الميكانيكا الكمية في ما بعد تدع التماسك التصوري للفيزياء الكلاسيكية قائما . فهي تحافظ فعلا على المبدأ الأساسي للتوازن في الطبيعة وترى أن في الامكان تصور الطبيعة عن طريق معادلات تفاضلية. فنظرية النسبية ترجع إذن كل ما يحدث في الطبيعة إلى العلاقة الزمنية التي تعبر عنها تلك المعادلات . فإذا لم يحطم اختلال التوازن تلك العلاقة فإن وحدات الزمن تصبح متصلة التلاحق ومعنى ذلك أن القانون المعبّر عن تلك العلاقة لا بد له من اقحام مشتقة بالنسبة للزمن .

فنظرية النسبية تحافظ إذن على التصور الأساسي في الفيزياء الكلاسيكية من حيث أن مبدأ الاستمرارية يحكم الطبيعة على أنها قد شرعت بعد في الخروج عن التقاليد من حيث أنها أصبحت تنمي أسلوبا في التفكير جديدا .

فهي قبل كل شيء تضع موضع القانون ألا تعالج الطبيعة **باخضاعها لمفاهيم مسبقة بل بجعل المفاهيم التي نتناول بها الطبيعة ملائمة لها .**

وهذا المبدأ الجوهري الذي كان غريبا عن الفيزياء الكلاسيكية قد جرب في الهندسة فأدى إلى رؤية أعمق بشأن المسالك والوسائل المستعملة في البحث العلمي .

فما هو القاسم المشترك بين النسبية والهندسة ؟ قبل الاجابة عن هذا السؤال لا بد من ايضاح مسبق .

إن الهندسة علم لا يحتاج إلى التجربة لأن في الامكان بناءها مسبقا . وبما أنها مقطوعة الصلة بالتجربة فإنها لا تفضي إلى نفس النتائج دائما . فهناك هندسات مختلفة تتضارب بياناتها ولكننا لا نستطيع اعتبار بعضها على صواب واعتبار البقية على خطأ . فعلى سبيل المثال ، يبدو أن مجموع زوايا المثلث 180 درجة في هذه الهندسة في حين أن ذلك المجموع يصبح أكثر أو أقل في بعض الهندسات الأخرى. فالأمر يتوقف هنا على المسبقات التي اتخذت كأمس في بناء الهندسة . فاقليدس مثلا تصور خمس مسبقات ثم بنى هندسته عليها إلا أن المسبقة الخامسة التي وضعها اقليدس تقول لا وجود إلا لمستقيم واحد يمر من النقطة (ب) ولا يمكن أن يلتقي بمستقيم آخر اختير مسبقا يمر من النقطة (أ) على أن هذه المسبقة تصبح غير بديهية دائما إذ بإمكاننا أن نتصور بداية من النقطة (ب) وجود منطقة زوايا تمتاز بأن كل المستقيمات المارة من (ب) داخل تلك المنطقة لا تلتقي أبدا بالمستقيم الأول المختار. وهذا افتراض يقودنا إلى وضع هندسة غير اقليدسية والفرق بين الهندستين هو أن هذه الهندسة الجديدة تعتبر الفضاء منحنيا في حين أن هندسة اقليدس تعتبره مستويا . ثم بالاضافة إلى ذلك الفرق تنسب

هندسة بولاي ولوبتشفسكي نفس الانحناء للفضاء في كل موقع . ويمكننا التخلي أيضا عن هذا الافتراض واعتبار انحناء يتغير من نقطة إلى أخرى فنتحصل بتلك الطريقة تقريبا على الهندسة التي وضعها ريمان والتي ستستعملها نظرية النسبية في ما بعد .

لكن ما معنى الفضاء المستوي والفضاء المنحني ؟ إن من العسير تبيانه في بعض كلمات لأن النعتين في فضاء ثلاثي الأبعاد يفقدان قيمتهما التصويرية الملموسة.فنحن لا نستطيع أن نتصور إلا سطوحا مستوية أو منحنية أي صورة فضاء ذي بعدين فقط فلا بد إذن من العمل على إحالة الخصائص الجوهرية لتلك السطوح إلى فضاء ذي ثلاثة أبعاد ويمتاز السطح المستوي بأن كل جسم يسير فوقه ويتبع نفس الاتجاه باستمرار ، انطلاقا من النقطة ب سيظل يبتعد دائما أكثر فأكثر من تلك النقطة فبإمكان الجسم إذن قطع أية مسافة مهما كان طولها . وانطلاقا من تلك النقطة لنقارن سلوك السطح المستوي بسلوك يذكرنا بسطح كروي له نفس الانحناء في أية نقطة أردت . إن من يسير في خط مستقيم على أديم الأرض سيزداد ابتعادا في البداية عن نقطة الانطلاق إلا أنه عند قطعه لنصف دائرة الأرض سيكون قد وصل إلى نقطة متى تجاوزها بدأت المسافة التي تفصله عن نقطة الانطلاق تتقلص .

إذا ما نقلنا ذلك المفهوم إلى الفضاء حصل لدينا ما يلي : يكون الفضاء مستويا أو منحنيا (انحناء منتظما) متى أبدى تصرّف السطح المستوي أو المنحني . فالفضاء « الكروي » سيمتاز إذن « بالانغلاق على نفسه » أي أن كل منحن ــ رغم ظهوره كمستقيم ــ سيعود القهقرى .

ما هي الهندسات التي يمكن تطبيقها على الواقع ؟

إن الهندسة علم مسبق ينتهج طريق الاستنتاج انطلاقا من مسبقات محدودة وهذا ما يجعل اختيار المسبقات يؤدي إلى هندسات مختلفة

اختلاف تلك المسبقات . إلا أننا نستطيع أن نجيب دون مسبقات عن تساؤلنا أي الهندسات يمكن تطبيقه على الواقع ؟ هل أن الفضاء الذي ترتبط به قياساتنا اقليدسي أم لا ؟ لا أحد يستطيع الاجابة على هذا السؤال من أول وهلة. فالسؤال يخفي لا محالة أننا عند قيامنا بالقيس سنتحقق مثلا هل أن مجموع زوايا المثلث يساوي 180 درجة كما تفرضه هندسة اقليدس أم لا .

لكن حالما نشرع في القيس ستعترضنا صعوبة مفاجئة ولنمكث مع مثال المثلث الذي يجب أن نقيس مجموع زواياه.فنحن نحدد المثلث بثلاث نقاط نرسمها في فكرنا بطريقة ما . ثم يجب أن نصل بينها لكن ما العمل ؟ ما معنى « مستقيم » ؟ فالهندسة لا تسمح لنا بتعريف خاص بالمستقيم فهي تنظر إليه كمفهوم أساسي لا يمكن ارجاعه إلى أي مفهوم آخر وحينئذ هو مفهوم لا يرتكز إلا على البديهة الحاضرة وهذا لا يقلقنا ما دام المستقيم لا يعرض لنا إلا في الذهن لكن تصور المستقيم ذهنيا أمر وتجسيمه في الواقع أمر ثان . فلا بد لنا من معاينة تتابع النقاط في اتجاه واحد كي نجسم صفة الاستقامة في الشعاع الضوئي . وهذا لا يكون إلا إذا عرفنا المستقيم بالطريق التي يسلكها الشعاع الضوئي . لكن من أين لنا أن الأشعة تنتشر في مسار مستقيم ؟ إن التعمق في التفكير يقودنا حتما إلى أن نكتشف أننا لا نعرف عن مسار الضوء شيئا وأننا نعتقد أو بصفة أدق نقرر ذلك حتى نتمكن من جعل قياساتنا مطابقة للواقع . ولو أردنا لاستطعنا أن نأخذ عوضا عن الشعاع الضوئي جسما آخر لا يخضع لأية قوة فنفسر المستقيم بمسار ذلك الجسم . ومعنى هذا أن الحاق المفاهيم الهندسية الأساسية بالواقع ليس من قبيل الهندسة في ذاتها . فنحن مضطرون **إلى وضع تلك المفاهيم** حتى نصل إلى أبسط القوانين الطبيعية الممكنة فنحن بتعريفنا للمستقيم بدون مبرر بالمسار الذي يتبعه الشعاع الضوئي نجبر الضوء آخر الأمر على الالتزام بقانون

بسيط هو أن ينتشر دائما في وسط متجانس انتشارا مستقيما . وهذا اقرار لا يمكن لا دحضه ولا تأكيده فهو خال من أي محتوى موضوعي ولا يعبر إلا عما نريد أن يفهم من معنى « مستقيم » فالأمر يتعلق هنا إذن بتعريف لم يوضع إلا لكي نأمن مخالفته .

إن التعاريف صحيحة أو خاطئة لا يمكن إلا أن تكون مطابقة لهدف مرسوم أم لا . فالتعريف يكون إذن مطابقا للهدف المرسوم إذا مكننا من صياغة قوانين طبيعية وللتأكد من ذلك سنبادر بالنظر هل أن تعريفنا للمستقيم ينطبق على قانون الجمود وهو قانون يبين دون الالتجاء بادىء الأمر إلى مفهوم المستقيم أن جسما غير خاضع لأية قوة سيتحرك بسرعة منتظمة في مسار يمكن أن يكون مسار الشعاع الضوئي . إلا أن هذا يعني ــ بما أن مسار الشعاع الضوئي مستقيم ــ أن أي جسم غير خاضع لقوة ما سيتحرك حركة منتظمة مستقيمة . إن بساطة هذا القانون ليست من صنع الصدفة بل هي من عملنا نحن بما أنها لا تصح إلا إذا تصورنا المستقيم كمسار ممكن للشعاع الضوئي إذ لا شيء يجبرنا على ذلك التصور.فبإمكاننا أيضا التأكيد على أن الضوء ينتشر في مسار منحن فيفقد قانون الجمود حينئذ بساطته ونضطر إلى صياغته صياغة أخرى جديدة معقدة .

وبذلك تبدو لنا القوانين الطبيعية بسيطة لأننا نقيس الطبيعة بواسطة هندسة قدّت على مقاسها والهندسة تجنبنا على كل حال نصف الطريق فلولاها لما تمكنا فعلا من التعبير عن الطبيعة بتلك البساطة المطلوبة.وليس هذا الوضع من صنعنا بل هو ناتج عن نظام الطبيعة نفسه فنحن لن نستطيع أن نعيد إليها جوهرها بوضوح إلا باستعمالنا لهندسة تلائم علاقات حسابية بسيطة .

لا شيء إذن غير استعمال هندسة مطابقة للطبيعة يمكننا من الوصول إلى وضع قوانين بسيطة. لذلك كان عمل نظرية النسبية المعممة الأساسي ارساء هندسة لكل وحدة زمان ومكان تكون ملائمة للمحيط المباشر للنقطة المعنية زمانا ومكانا . وبما أن هناك ـــ كما سبق أن رأينا ـــ هندسات ترتكز أساسا على انحناء الفضاء (أو بعبارة أدق انحناء الكون الزمني المكاني) فإنه يمكننا القول بأن لكل نقطة من الفضاء ـــ الزمن ، انحناء يجب اكتشافه ، وسيبين لنا القانون الأساسي لنظرية النسبية أن الانحناء يتناسب وكثافة الكتلة الموجودة في الموضع المعني فإذا كانت تلك الكثافة صفرا-أي إذا كان المحيط فارغا ـــ فإن الانحناء يكون صفرا هو أيضا ويمكننا عندئذ تطبيق الهندسة القليدسية على المحيط ما دام فارغا . ويعني ذلك ـــ بعبارة أخرى ـــ وجود نظام احداثيات يكون فيه مسار الشعاع الضوئي أو مسار جسم خاضع لقانون الجمود ، مستقيما . أما إذا كان الفضاء ـــ على عكس ذلك ـــ عامرا بالمادة فإن ذلك الفضاء يصبح منحنيا وتحل محل المستقيمات خطوط جيوديزية لهندسة كروية .

إن هذا النمط من التصور لا يدركه بالضرورة إلا المتمرنون فغيرهم يشعر كأنه ضل طريقه إلى قاعة دروسه المعتادة فوجد نفسه في درس هندسة عليا لا يفهمها . فنستطيع فعلا تمييز نظرية النسبية المعممة بأنها تقوم **بهندسة الفيزياء** فتحول القوانين الطبيعية إلى علم مسبقات هندسية ولهذا الوضع معان بعيدة جدا . فلقد سبق أن قلنا إن الهندسة علم مسبقات لا يرتكز على التجربة بل يتطور انطلاقا من التفكير نفسه فإذا ما أرجعنا قانونا طبيعيا إلى الهندسة فإنه سيكون حينئذ ذاتيا وسنتوصل إذن إلى يقين يكون مستقلا عن التجربة .

ومما لا جدال فيه أن لذلك السلوك حدودا . إذا لا يمكن أن نقر بأن كل ما نلاحظه من فعل الهندسة . فلو كان ذلك صحيحا لاكتفينا باللجوء إلى الهندسة لفهم كل ما يحدث أمامنا . ثم إن هندسة القوانين الطبيعية ـــ مهما كانت عميقة ـــ ستترك ، في الواقع ، شيئا ما لا يمكن أن تستوفيه الهندسة ولكن له محتوى موضوعيا مستقلا تمام الاستقلال عن الفكر ، ولا تمكننا من الوصول إليه إلا التجربة .

معنى نظرية النسبية :

ما هي الثورة العظمى التي أدت إليها نظرية النسبية في الفيزياء ؟

فانجازات اينشتاين لم تقف عند اثرائه الفيزياء باكتشاف قوانين طبيعية أساسية بل إنه أنجز أكثر من ذلك : اكتشف طريقة جديدة، لها معنى بعيد جدا ، في ترتيب الأشياء عبر الفضاء والزمن . وقد اعترف اينشتاين بأن الفيزياء لا يمكن أن **تعلو إلى درجة من الموضوعية المطلقة** في استيفائها للطبيعة فنحن عند رسمنا لنظرية ما لن نصل إلى شيء آخر غير الذي هو منا فيها، عاريا من كل ملامحه الذاتية. لكننا نعالج النظام الزمني المكاني حسب خطة مسبقة مطابقة لهدف معين . وليست تلك الخطة عشوائية بل يجب أن تؤكد صحتها النتائج المترتبة عنها وأن تتلاءم بصفة أو بأخرى مع الطبيعة . وهذا لا يغير في شيء من خصائصها الذاتية إذ في إمكاننا اختيار خطة أخرى وهذا يضطرنا إلى إعادة النظر في قوانين طبيعية معقدة جدا . وبذلك تكون نظرية النسبية قد حشرت الانسان العالم بين الطبيعة وقوانينها وجعلت امكان تصور معالم الطبيعة في بساطتها الأشد اقناعا ، مقيدا بقدرة الحدس لدى الانسان .

ومازال لدينا شيء يجب أن يقال هو أن نظرية النسبية قد تخلت ـــ قصد تحقيق أهدافها ـــ عن التصور التقليدي للفضاء والزمن . فالزمن لحدّ ذاته والفضاء لحدّ ذاته قد ضيعا فيها كل مدلول مطلق . وهذا المدلول لن يأتي إلا من عالم المكان والزمان ذي الأربعة أبعاد حيث يتم توحيدها . فالتقسيم التحليلي لهذا العالم إلى فضاء وزمان يبدو فعلا في أوجه مختلفة حسب النظام المرجع المستعمل . فالأمر يتعلق إذن بقطيعة بين الفيزياء والتفكير العادي وهي قطيعة لم نتمكن لحد الآن من معرفة عمقها بكل الدقة المرجوة . فعلى سبيل المثال إن الانحناء المتناسب مع كثافة الكتلة ـــ وقد تحدثنا عنه سابقا ـــ لا يرتبط بالفضاء فقط بل بالزمان أيضا . وما دام الفضاء المنحني يفلت من قدرة تصورنا المنحصر في فضاء ذي أبعاد ثلاثة فمن الطبيعي ألا نتصور الزمن المنحني. فنظرية النسبية قد أجبرت الفيزياء على التخلي عن الملموس وستجبرها الميكانيكا الكمية في ما بعد على المضي إلى أبعد من ذلك . وفي الحالتين ليست صفة « غير الملموس » فيهما إلا نتيجة لقصور حقيقي للمفاهيم الصادرة عن الحياة اليومية في اخضاع التجارب الجديدة المدققة التي تدفعنا إليها النظرية إلى قوانين طبيعية .

الفصل الثالث

المرور إلى الفيزياء الحديثة

افتراض بلانك :

لقد اتخذت الفيزياء في بداية هذا القرن منعرجا لم يتضح معناه بسرعة ولكنه أدى في بحر ثلاثين عاما إلى ثورة كاملة في التفكير الفيزيائي .

ما الذي حدث إذن ؟ هل ظهر أن الفيزياء الكلاسيكية كانت على درجة من الخطأ أصبحت معه مضطرة إلى ترك المكان لبديل آخر ؟ إن هذا الادعاء باطل . فالفيزياء الكلاسيكية نشأت من تحليل تجارب تتعلق بالعالم المرئي فهي نظرا لجذورها لم تتجاوز قدراتها ذلك الميدان وبقيت صحتها من هذه الناحية سليمة. فالمهندس المعماري أو صانع الماكنات هما في غنى أثناء عملهما ، عن كتاب في الميكانيكا الكمية ولن يضرهما في شيء التمسك بالفيزياء العادية . إلا أن التقنية الحديثة قد استغلت أيضا العالم اللامرئي للقسيمات الأولية وهي في ذلك تستخدم فيزياء جديدة تكاد تكون عديمة الصلة بالفيزياء القديمة ويبرز في هذه الفيزياء الجديدة كصفة من صفاتها المميزة ، استعمالها لثابت طبيعي عام أدخله فيها « بلانك » .

لقد جرّ بلانك إلى اكتشاف ذلك الثابت أثناء قيامه بدراسات حول توزيع الطاقة في طيف اشعاعات الجسم الأسود وانتهى إلى التيقن من استحالة تفسير ذلك الطيف ــ إن تفسيرا مجملا ــ بواسطة الفيزياء الكلاسيكية فقد حاول بدون جدوى ذلك إلا أن تلك الفيزياء لم تمكنه من الوصول إلى أن اصدار

الاشعاع أو امتصاصه يجب أن يحصل بقفزة فجئية عجيبة . فالرأي السائد عندئذ هو أن مصدر الاشعاع اهتزاز الالكترون . فالاشعاع حينئذ يكون عملية متواصلة أساسا إلا أن ذلك الافتراض جاء متناقضا مع التجربة . فلم يبق أمام بلانك إلا باب واحد مفتوحا لرفع ذلك التناقض هو أن يفترض وجود كميات صغيرة جدا من الطاقة غير قابلة للانقسام أي أنه ــ بعبارة أخرى ــ لا بد من **اضفاء هيكلة ذرية** على الاشعاع على غرار المادة وبذلك تنتفي صفة التواصل في اصدار الذرة للاشعاع الضوئي فتشع على قفزات فجئية في شكل كمية طاقة.وكذلك الأمر بالنسبة للامتصاص فهو أيضا يحصل بطريقة غير متواصلة من حيث أن الطاقة المشعة تمر فجأة من الفضاء إلى الذرة . لأجل ذلك كله اضطر بلانك ــ كي يتمكن من تبرير نتائج قياساته ــ إلى ادخال افتراض أساسي هو أن حجم كمية الطاقة يرتبط بذبذبة الاشعاع ويكون حصيلة ضرب تلك الذبذبة (ν) في ثابت عام (h) سيعرف من بعد بثابت بلانك . وهكذا كلما قصرت موجة الضوء ، ازدادات حظوظها في التمكن من عدد أوفر من الذرات .

ذلك هو الافتراض الذي قدّمه بلانك يوم 14 ديسمبر 1900 أمام الجمعية الألمانية للفيزياء ولم يكن أحد يتوقع أثناء تلك الجلسة أن ذلك الافتراض سيغير في يوم من الأيام تصورنا للعالم . فقد اعترضت الفكرة أول الأمر ريبة واضحة. فالنظرية التي تصل إلى ذلك الحد في احتقارها لمفاهيم عركتها التجارب نظرية تبدو غير مقبولة ولا يمكن أن تؤخذ بعين الجد . إذ أن نظرية التموج في الضوء لم تكن إلى ذلك الحين في وضع يسمح بأن يشكّ في صحتها . لكن الضوء ، إذا كان حدثا موجيّا ، فكيف يمكن أن يتألف من كميات لا تتجزأ فقد كان ذلك بعيدا عن التصور حتى في نظر بلانك نفسه . ولم يكن أحد مستعدا لقبول ذلك الافتراض على الصيغة

التي قدم بها . إلا أن الناس كانوا يعتقدون آنذاك أنه قد يكون على نصيب من الصحة فلا بأس إذن من الانتظار عسى أن يهتدي إلى صيغة أخرى أكثر ملاءمة عند الاستعمال .

خطوط الطيف هي رسل العالم المجهري :

لكن سرعان ما تخلى الناس عن ذلك الموقف إذ كلما تقدمت التجارب المتعلقة بالذرة ، قوي الشعور بأنها تصدق نقطة تصور بلانك.فلا شيء غير تلك الفكرة يمكننا من أن نفهم أن القوانين الصالحة لعالم التجربة اليومية لا تصلح لعالم أصغر هو عالم قسيمات المادة وأن تلك القسيمات تتصرف تصرفا خاصا ويظهر في تصرفها تقطع غريب الأطوار من جهة نظر الفيزياء الكلاسيكية .

ويتمثل ذلك التقطع في بعض القيود الخاصة التي تكبل الذرة أو إن شئنا تكبل قدرتها على التحول من حالة إلى أخرى . فكل حالة من حالاتها لا يمكن أن تتغير تغيرا استمراريا بل إن تغيرها لا يحدث إلا بصفة متقطعة. فالطبيعة لا تسمح للذرة إلا بعدد محدود من الحالات معروف ولا تستطيع الذرة التحول من حالة إلى أخرى إلا بقفزات فجئية وقد أثبت فرانك وهرتز ذلك الزعم بطريقة مثيرة أثناء قيامهما بتجارب ذكية.فقد أرسلا الكترونات وسط غاز فاستنتج من ذلك أن اصطدام ذرة الغاز بالالكترون لا يغير حالة الذرة إلا إذا كانت طاقة الالكترون كافية لتمكين تلك الذرة من الارتقاء إلى مستوى طاقة أعلى . فإذا كانت طاقة الاصطدام دون ذلك لم يحدث شيء عن العملية وسنعود إلى هذه التجارب مرّة أخرى .

على أن القيام بتجارب خاصة قصد ابراز التقطع في سلوك الذرة لم يكن ضروريا بل كان يكفينا النظر في خطوط الطيف الذي يصدره العديد من

العناصر الكيميائية . فنحن إذا أشعلنا حتى الاحمرار عنصرا من تلك العناصر الغازية قمنا بتحليل الضوء الذي تشعه بواسطة مؤشر تحصلنا على طيف يتكون من خطوط واردة تتتابع بانتظام ، ويمثل رسالة من الكون المجهري إذا تمكنا من قراءتها تحصلنا على العديد من المعلومات حول نظام ذلك الكون.فالاختصاصي الذي يسمع صوت ناقوس يدق من بعيد يصبح قادرا دون أن يرى ذلك الناقوس على رسم شكله وحجمه والمادة التي صنع منها وذلك بواسطة التحليل فقط : إذ لا يوجد فعلا إلا ناقوس فريد يمكن أن يصدر صوتا له تلك الذبذبات بعينها وكذلك الأمر بالنسبة للذرة فانطلاقا من ذبذبة الخط الطيفي يمكن الاهتداء إلى هيكل الذرة وإلى الضوء الذي يمكن أن تصدره .

إلا أن الذرة تطرح مشاكل أصعب من مثال الناقوس فالأمر يتعلق بالنسبة للناقوس بذبذبات ميكانيكية في حين أن الأمر بالنسبة للذرة يتعلق بذبذبات كهرمغناطيسية . فلا شيء يمكن أن يحدث ـــ حسب نظرية مكسويل الكلاسيكية ـــ إلا تأرجح الالكترونات الموثوقة إلى الذرة قصد المحافظة على توازنها . فيتسبب تأرجحها في قيام حقل كهرمغناطيسي له نفس الذبذبة إلا أننا سنجد أنفسنا عندئذ أمام لغز لا حل له . لنأخذ ذرة هيدروجان فلا يمكن أن يساورنا أدنى شك في أنها لا تشتمل إلا على الكترون واحد إلا أن طيفها يحتوي على عدد كبير من الخطوط يجب أن تكون كلها صادرة عن الالكترون فنتساءل ـــ دون طائل ـــ كيف أن تلك القسيمة يمكن أن تصدر ذلك العدد من الخطوط الطيفية.والصعوبة الأساسية هي أن نفهم كيف ينشأ الخط الطيفي . فالذرة تفقد الطاقة عند اصدارها الضوء . على أن الذبذبات المميزة لهيكل كهرمغناطيسي معين مرتبطة عادة بطاقة ذلك الهيكل

فلا بدّ إذن من أن تتغير تلك الذبذبات بصفة مستمرة أثناء الاشعاع وفي هذه الحالة يجب أن يبرز طيف مستمر لا خط طيفي .

طيف الهيدروجان :

ثم إن هناك شيئا آخر: فطيف العنصر يمكن تقسيمه إلى مسلسلات مختلفة ومعنى ذلك أن الذبذبات قابلة لأن ترتب حسب نظام الأعداد الكاملة 1. 2. 3 إلخ... ومن خلال هذا نريد أن نقول إن ذبذبات كل مسلسلة يمكن كشفها بواسطة متعادلة يتدخل فيها عدد كامل . فإذا ما أعطينا ذلك العدد الكامل حسب مقادير قيمتها 1. 2. 3 ... أمكن أن نتحصل على ذبذبات الخطوط المتتالية داخل نفس السلسلة . ولقد تم اكتشاف ذلك سنة 1885 قبل بزوغ فكرة الكمية بزمن طويل . والاكتشاف من نصيب معلم من مدينة « بال » يدعى « بلمير » وخطورة ذلك الاكتشاف العظمى لا تكمن في اثبات قانون ما ، بل في أنه مكّن من رسم ذبذبات الخطوط الطيفية بالنسبة للهيدروجان بواسطة كوكبة من الاعداد الكاملة . ولقد ذهب بلمير إلى أبعد من ذلك فقد أثبت أن تلك الذبذبات تخضع للمعادلة $V = R\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{m^2}\right)$

وهي معادلة تأخذ بعين الاعتبار كل الخطوط التي تظهر في الجزء المرئي من الطيف على أساس أن قيم m يجب أن تكون أكبر من 2 . واعتبر بلمير R ثابتا من الثوابت الطبيعية العامة. ونحن عند وضعنا $m = 3$ نتحصل على ذبذبة الاشعاع الأصغر موجة (الواقع في المنطقة الحمراء) وعند جعلنا m لامتناهيا نتحصل على ذبذبة تساوي ربع R وهذه الذبذبة تقع في الطرف البنفسجي من الطيف المرئي .

ولم يكن بلمير يتوقع ما سيكون للقانون الذي اكتشفه من آثار عظيمة . فنحن مدينون له بالفضل في ادخاله الاعداد الكاملة إلا أنه أمسك عن اصدار

أية نظرية واكتفى بالاهتداء إلى معادلة بسيطة تمكننا من تحليل طيف الهيدروجان تحليلا أخاذا، ولم يستطع أحد تبرير معادلة بلمير إلا عندما هيّأ بلانك بنظريته الوسائل الكفيلة لذلك. فحسب تلك النظرية يولد الضوء دائما بفعل فجئي متقطع ، أي عندما تمر الذرة فجأة من حالة تسمح بها الطبيعة إلى حالة أخرى فتتحول الطاقة المتوفرة عندئذ إلى اشعاع ذي ذبذبة ν ، يشكل كمية ضوئية $h\nu$.

وهكذا نفهم لماذا يجب استعمال فوارق بلمير ، عند معالجة الذبذبات في طيف الهدروجان. ففوارق بلمير ليست سوى فوارق الطاقة (مقسومة على ثابت بلانك) تلك الفوارق المميزة للحالات التي حدث بينها اصدار الضوء. فليس الأمر إذن خاصا بطيف الهيدروجان بل إن كل خط طيفي لكل عنصر — إذا كانت نظرية الكميات صحيحة — يجب أن نتمكن من ضبطه بفارق شريطة أن نغير بصفة ملائمة العناصر المكونة لذلك الفارق لأن مكونات الفارق تعني في الواقع الطاقة (مقسومة على h) التي تحدثها ذرة العنصر في كل حالة من حالاتها المختلفة .

وهنا يعترضنا أمر نحن مهيؤون له : ونعني به ادخال الاعداد الكاملة للتعبير عن الطاقة وهكذا نجد — بالنسبة لذرة الهيدروجان أن الطاقة يجب أن تكون عند استخدام معادلة بلمير قصد تفسير سلسلة من حالات الذرة ، على النحو التالي : $-\frac{1}{1^2}Rh$ ، $-\frac{1}{2^2}Rh$ ، $-\frac{1}{3^2}Rh$ ... إلخ .

معنى الأعداد الكاملة :

لقد لعبت الاعداد الكاملة دورا خطيرا في الفلسفة الاغريقية ففيثاغور — وكان لا يعرف إلا الأعداد الكاملة — قد شيد كونه أجمع عليها وذلك بدعواه القائلة : « بأن كل شيء عدد » واكتشافه أن التوافق الحاصل بتركيبة النغم وجوابه يرتكز على نسبة واحد إلى اثنين ، هو الذي دفعه إلى تلك

المغالاة فانتهى به ذلك إلى التفكير في أن كل توافق ـــ بما في ذلك التوافق القائم في الفلك بأجمعه ـــ هو حصيلة أعداد كاملة ويجب إذن أن يفسر بواسطة الأعداد دون سواها . وهذا تصوّر ينتهي لا شكّ إلى الاغراق في الصوفية ما دام فيثاغور لا يملك افتراضات لهاأسس علمية معركة . لكننا سنكون مخطئين لو استصغرنا فلسفته تلك رغم نقائصها . فالحق أن العلم قد اتخذ لنفسه منذ ذلك الحين هدفا واضحا **هو تصور لتكوين العالم الفيزيائي بواسطة علاقات** تستخرج من الأعداد الكاملة . فنظرية ديمقريط الذرية قد رسمت مرحلة في تلك الطريق إذ أن اللجوء إلى العدد يفرض نفسه فرضا حالما نعلم أن المادة تتكون من قسيمات صغرى لا يمكن تجزئتها إلى أبعد من ذلك وأن تلك القسيمات غير قابلة للتقسيم.إذن ومنذ ذلك العصر أصبح الانسان يقترب شيئا فشيئا من القوانين المبسطة المعبر عنها بواسطة أعداد كاملة تشكل أساس الكيمياء ثم جاء بلتزمان في آخر القرن الماضي فوجد فرصة أخرى جديدة لاستعمال الأعداد الكاملة في الفيزياء وذلك عند تحديده لاحتمال حالة مرئية بواسطة عدد الامكانات التي يوفرها تحقيق تلك الحالة على المستوى المجهري وبذلك تكون خطوة هامة قد قطعت قصد اعطاء المبدأ الثاني في الحرديناميكا محتوى تعبر عنه الأعداد .

وها نحن نكتشف الآن أن الأعداد تدخل أيضا في تفسير أطياف العناصر فلا يمكن أن يكون ذلك ناتجا إلا عن تذرية كل الظواهر الطبيعية لا تذرية المادة فقط . فالظواهر الطبيعية وإن كان المتسبب فيها امتصاص الذرة للضوء أو اصدارها له ـــ لا تتكون حسب بلانك من حوادث متواصلة بل هي دائما أفعال أولية غير قابلة للتجزئة ويمكن القول ـــ بصفة عامة ـــ أن كل العمليات التي يكون فيها الضوء والمادة (أو قسيمات المادة) في حالة تفاعل هي عمليات تضيق ـــ حسب الميكانيكا الكمية ـــ عن كل وصف يستعمل

عناصر الاستمرارية الفضازمنية وتمثل لنا إذن كعمليات متقطعة.وهكذا تطالعنا من جديد امكانات التعداد ، فتقترن-على وجه الخصوص ـــ كل حالة من حالات الذرة بعدد كامل يشير إلى عدد الأفعال الأولية التي يمكن أن تنتج عنها تلك الحالة .

نيلس بوهر ونظريته في ذرة الهيدروجان :

انطلاقا من أفكار شبيهة بالتي مرّ ذكرها تمكن بوهر سنة **1913** من وضع نظرية لذرةالهيدروجان كانت خطوة حاسمة نحو افتراض الكميات.فقد اجتهد بوهر في الوصول إلى نظرية تكون ألصق ما يكون بالفيزياء الكلاسيكية . لذلك احتفظت النظرية بشيء من الصفات الملموسة لم يلبث أن أفقدها إياها تقدم الميكانيكا الكمية. فبوهر تصور ذرة للهيدروجان تتكون من نواة ذات شحنة ايجابية والكترون في تركيبة فلك شمسي مصغر تلعب فيه النواة دور الشمس والالكترون دور الكوكب . والشبه لا يحمل في حدّ ذاته أية مسحة مصطنعة فالقانون الذي يحكم التجاذب القائم بين جسمين من حيث المسافة الفاصلة بينهما ينطبق على قوة كولمب التي تدور بفضلها الالكترونات حول النواة ، فكل من القوتين تتناقص بالتناسب عكسا مع مربع المسافة الفاصلة بين الجسمين أو بين النواة والالكترون . فالالكترون يدور حول النواة كما تدور الأرض حول الشمس أي بالضبط حسب قوانين كبلار

وهذه أفكار مازالت تحوم في اطار الفيزياء الكلاسيكية ولا تسمح باستعمال مسلسلة بلمير والأعداد الكاملة . فاضطر بوهر إلى الالتجاء إلى نظرية الكميات كي يفسّر تلك الأعداد وكان ينوي استعمال تلك النظرية كي يستخرج من بين مجموعة الحركات الدائرية المقبولة في الفيزياء

الكلاسيكية ، سلسلة متقطعة [1] من الحركات قابلة للترتيب ـــ نظرا لطبيعتها ـــ وفق نظام الأعداد الكاملة . ولقد اختار بوهر قصد الوصول إلى غايته مقدارا ميكانيكيا معينا كان يلعب دورا خاصا في الحركة الدائرية وزعم أن الالكترون لا يستطيع الدوران حول النواة إلا في مدارات يكون فيها ذلك المقدار مضاعفا كاملا لثابت بلانك .

كانت النتيجة مذهلة فقد ظهرت سلسلة خفية من حالات الذرة تقاس طاقاتها بمقياس $R.h. \frac{1}{m^2}$ بل ان ذلك مكن بوهر من استخراج قيم الثابت R ذلك الثابت الذي منحته النظرية معنى يتدخل فيه كل من شحنة الالكترون وكتلته وثابت بلانك ويتطابق الثابت R وفق h تطابقا دقيقا مع ثابت قانون بلمير إلى درجة أن ذلك التطابق لا يمكن أن يكون مجرد صدفة لذلك بدت نظرية بوهر ـــ مبدئيا على الأقل ـــ نظرية صحيحة مقبولة .

والنتيجة الأساسية لتلك النظرية هي ابراز الحالات التي تتصورها الميكانيكا الكلاسيكية في الذرة كنتيجة انتقاء . فالطبيعة بالفعل لا تسمح إلا بنوع معين من الافتراضات المتعلقة بحالات الحركة ونعني به افتراضا يمكن التعبير عنه بالأعداد الكاملة فلا تستطيع الذرة تغيير حالتها إلا بطريقة متقطعة فتقفز من حالتها « الواقفة » إلى حالة أخرى واقفة . فإذا ما تناقصت طاقة الذرة ، توفرت طاقة معينة وتحولت إلى اشعاع ذي ذبذبة (V)فتنشأ عن ذلك مباشرة كمية ضوئية hV هي المزاعم المهذبة التي اعتمدها بوهر قصد الوصول إلى مسلسلة بلمير .

---

(1) تسلسل أو سلسلة من القيم يفصل بينها فراغات مثال ذلك سلسلة الأعداد الكاملة .

على أن تجارب فرانك وهرتز التي مرّ ذكرها سابقا ، مكنت في ما بعد من ابراز وجود سلسلة خفية من الحالات «الواقفة» لكل ذرة وذلك بصفة أكثر مباشرة . ففي تلك التجارب كان الفيزيائيان يبثان الكترونات وسط الغاز فتبين أن الالكترون لا يستطيع تغيير حالة ذرة الغاز التي يصطدم بها إلا إذا فاقت طاقته مقدارا حرجا معينا . أما إذا كانت طاقته دون ذلك الحدّ الأدنى فإن الالكترون يرتدّ ارتدادا مطاطيا اثر اصطدامه بالذرة ومعنى ذلك أن طاقته لا تسجل انخفاضا وليس هناك من تفسير لتلك الظاهرة سوى تفسير وحيد : هو أن ذرات الغاز البارد كانت كلها في حالة طاقة سفلى أو حالة أرضية وتفصلها طاقة عتبة عن الحالة ذات الطاقة الأعلى مباشرة أي أولى حالات الاثارة . فتكون النتيجة أن الالكترون لا يتمكن من دفع الذرة إلى تلك الحالة إلا إذا كان يحمل طاقة كافية تمكنه من تجاوز تلك العتبة .

طبيعة الضوء المزدوجة :

إذا لم تعد نظرية بوهر تسمح بتفسير سلوك الذرة بواسطة الفيزياء الكلاسيكية فإن عليها أن تقنع الناس بالافتراض الكمي إذ لا شيء كان يدعو إلى ادخال مفاهيم جديدة غريبة عن الفيزياء التقليدية سوف لن يتأخر الناس عن نعتها بأنها غير « مفهومة ».ولقد عيبت بذلك سابقا بعض التجارب الخاصة بالضوء وهي تجارب لم تستوفها النظرية لأنها كانت تقود على ما يبدو — إلى تفسير متناقض.ومن بين تلك التجارب نذكر تلك التي قادت فيليب لونار سنة 1902 إلى دراسة المفعول الكهرضوئي الذي يحدث عند نزول الضوء على صفيحة معدنية رقيقة . ففي تلك الحالة تتنحى بعض الالكترونات عن الصفيحة محملة بطاقة حركية لاحظ « لونار » أنها لا تتأثر بحدة الضوء ولكنها تتأثر بذبذبته وحدها . ولا شك أن عددا أكبر من

الالكترونات يغادر الصفيحة عندما تقوى حدة الضوء إلا أن طاقة تلك الالكترونات لن تتغير فلا تظهر الالكترونات المحملة بطاقة أكبر إلا عندما يستعمل ضوء ذو ذبذبة أكثر ارتفاعا . لذلك كان للعلاقة الرابطة بين الذبذبة والطاقة أهمية خاصة فإذا ما تركنا جانبا النظر في ثابت لا يهمنا في هذا الموضع كان معنى تلك العلاقة أن طاقة الالكترون المنتزع تساوي كمية ضوء h V .

فكيف يمكن أن نفسر المفعول الكهرضوئي ؟ لقد حاول بعضهم جزافا العثور على تفسير يوافق التصورات المقبولة آنذاك في شأن الحوادث الضوئية ولم يبق إلا تفسير واحد هو أن نفترض أن الطاقة المشعة لا تتوزع في الفضاء توزعا متواصلا في شكل هيجان تموجي بل هي تتركب من كميات نقطية من الضوء h V تتحرك في الفضاء بسرعة الضوء وبذلك يحصل المفعول الكهرضوئي عندما تصطدم الذرة بإحدى تلك الكميات فتمتصها فترتفع بغتة طاقة الذرة الممتصة بمقدار يساوي h ѵ.وبعبارة أخرى اضطر العلماء إلى الرجوع إلى ذلك التصور المنسي المهجور من سنين ، الذي كان لا يرى في الضوء ظاهرة تموجية بل شكلا ماديا.لكن هل كانت تلك الفكرة جديرة بأن تؤخذ مأخذ الجدّ ؟ هل في الامكان تجاهل التجارب العديدة التي لم تترك أي مجال للشك في طبيعة الضوء الموجية ؟ ألم يصرح هرتز نفسه سنة 1885 : « إننا نعلم بعد تجارب يونغ وفرينال أن الضوء حركة موجية ونعرف سرعة تنقلها وطولها ونعرف أنها موجات مستعرضة . ونعرف ــ في كلمة واحدة ــ معرفة عميقة ، الظروف الهندسية للحركة . فلا مجال للشك في ذلك ، وكل إعادة نظر في الموضوع تصبح مسألة غير واردة بالنسبة للفيزيائي فالنظرية الموجية يقين إذا كان لهذه الكلمة معنى » .

فها نحن نكتشف الآن أن الضوء ـــ وإن أظهر أثناء انتشاره في الفضاء كل خصائص ظاهرة الأمواج ـــ يبدو كأنه يتكون من جسيمات ، في كل العمليات التي يتفاعل فيها مع المادة . ففي المفعول الكهرضوئي يتعلق الأمر بامتصاص ذرات المعدن المضاء للضوء والامتصاص لا يحصل في شكل فعل مستمر بل إن الذرة تمتص دفعة واحدة كمية كاملة وكذلك الأمر بالنسبة لاصدار الذرة للضوء كما سبق أن رأينا فالاصدار لا يكون مستمرا بل يحصل في قفزة فجئية ثم إن الاشعاع الوارد ـــ كما أوضح ذلك أ ـــ هـ . كمبتن سنة 1924 في تجربة لن تنسى لا يمكن فهمه إلا كاصطدام مباشر لجسيمة ضوئية بذرة فإذا بتلك الجسيمة ترتد ارتداد الكرة المطاطية فكلما حدث تفاعل بين الذرة والضوء تخلى الضوء عن طبيعته التموجية وارتدى شكل الجسيمة .

حل مشكل الازدواجية :

هكذا يبدو أن مراقبة الظواهر يسمح لنا بتفسيرين لا وفاق بينهما إذ أننا لا نستطيع الجزم لا بأن الضوء « اشعاع متموج » ولا بأنه « اشعاع جسيمي » وبما أن الضوء لا يمكن أن يكون هذا وذاك في آن واحد فإن المقولتين يجب أن تكونا قد ارتكزتا على تفسير للواقع لا يعقل والتناقض فيهما ناتج عن أن التأكيدين المتضادين يربطان الجواب عن التساؤل: ما هو الضوء بأحد الاختيارين. إلا أن الفيزيائي لا يسمح له بالقيام بمثل تلك الاختيارات وليس له أن يجيبنا ما هو الضوء ولكن عليه أن يبين القوانين التي تحكم الظواهر الملاحظة . ويجب أن تسمح لنا تلك القوانين بالتنبؤ بما ستعرض لنا ملاحظته أثناء القيام بكل تجربة تهم اشعاع الضوء .

غير أن للواقع بيانه إذ يبرز لنا أن الضوء يسلك سلوكين مختلفين أثناء التجربة فإذا لم نهتم إلا بانتشاره كان سلوكه مطابقا لقوانين الحركة التموجية وهذا لا يعني أن الضوء حركة تموجية بل يعني فقط أن التغييرات التي يحدثها الضوء داخل الكون المادي يمكن تصورها في علاقاتها الفضازمنية بواسطة القانون الرياضي للحركة التموجية . وإذا نحن خلافا لذلك أمعنا النظر في الحوادث التي يكون فيها الضوء متفاعلا مع المادة بدا لنا الضوء كإشعاع جسيمي من حيث أنه يتدخل دائما وكأنه يتركب من كميات غير قابلة للتجزئة قيمة كل منها h V وفي هذه الحالة أيضا لا نستطيع الجزم بأن الضوء يكون فعلا من تلك الكميات ولكننا نستطيع الجزم بأن سلوكه في تلك الحالة يمكن التعبير عنه بواسطة حيل رياضية تتفق مع صورة الاشعاع الجسيمي .

وهكذا سرعان ما يندثر ذلك التناقض حالما تتبلور الاحداث . فإن بدا الضوء كظاهرة تموجية أو كظاهرة جسمية فذلك مرتبط بمحتوى التجربة نفسها وليس هناك أية استحالة منطقية . فلو تأملنا سبورة طليت حمراء من الأمام وخضراء من الخلف لبدت لنا تارة حمراء وتارة خضراء حسب الموضع الذي ننظر إليها منه ، ولما شعرنا البتة بأن في ذلك لغزا من الألغاز .
لنعد إلى الموضوع مع تغيير الحجة : إذا استعصت الظواهر الضوئية على أن تفسر تفسيرا موحدا فإن ذلك لا يعني أن الضوء يجمع في باطنه طبيعتين تتنافيان بطريقة تغيب عن أفهامنا . بل إن التعبير عن سلوك الضوء بواسطة نظرية موحدة لا يمكن تحقيقه بالاعتماد على المفاهيم العادية في الفيزياء الكلاسيكية ولا غرابة في ذلك . فالفيزياء التقليدية قد استخرجت مفاهيمها من الميدان المرئي فكانت المفاهيم ملائمة له بحيث سمحت بتقديم بسيط لقوانين صالحة في ذلك الميدان . ولكن ذلك لا يعني أن تلك

المفاهيم يجب أن تكون صالحة أيضا لتصوير الميدان المجهري فنحن مثلا لا نستعمل في صناعة التعدين الأدوات الصالحة لتجهيز ماكنة دقيقة .

إن المفاهيم في الفيزياء لا دلالة لها إلا إذا كان لها محتوى يمكن تفسيره بإقامة قياسات. إلا أن المفهوم الصالح صلاحا كاملا بالنسبة للجسم المرئي يفقد كل قيمته عند تسليطه على الجسم المجهري . فالقياسات التي بني عليها تحديد المفهوم في الميدان المرئي لا يمكن تصديرها إلى الميدان المجهري . وسنرى مرة أخرى أن الميكانيكا الكمية نابعة من أنها تحدد من جديد المفاهيم المسلمة في الفيزياء الكلاسيكية بطريقة تناسب إمكانات التغيير في القياسات .

فالضوء إذن مصدره الذرة ومآله إليها . تلك هي الاحداث على المستوى المجهري فلا نستطيع القول بأن مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية تمكننا من التعبير عنها تعبيرا صحيحا . فكل محاولة نقوم بها في ذلك الغرض تصطدم بالرفض في تجارب لا تتلاءم والمفاهيم المستوردة. لذلك استحال ادخال تلك التجارب في اطار نظرية موحدة . فإذا نحن — رغم ذلك — حافظنا — قصد انقاذ الطبيعة الملموسة في التفسير — على تلك المفاهيم فإنه لن يبقى لنا إلا اللجوء إلى صورتين متناقضتين والعمل حسب طبيعة الظاهرة مرة بصورة الاشعاع التموجي ومرة بصورة الاشعاع الجسمي أي أننا سنجد أنفسنا مجبرين على التضحية بوحدة النظرية وتجزئتها إلى اثنتين إن صح التعبير . وليس أمامنا إلا طريق واحدة للخروج من ذلك الوضع المحرج هي أخذ القرار بالتخلي نهائيا عن طريقة التفكير الملموس في الفيزياء الكلاسيكية ، ونحت مفاهيم تكون مطابقة لما يحدث على الصعيد المجهري وتلك هي الطريقة التي سلكتها ميكانيكا الكم التي سنتحدث عنها مرة أخرى .

الطبيعة المزدوجة في المادة :

لقد أعد فيزيائيان أمريكيان يعملان بشركة بال للهاتف هما دافيسون وجرمار تجربة سنة 1927 كان لها الصدى البعيد.فقد كانا يريدان ــ لأمر ما ــ أن يعرفا كيف تتصرف الالكترونات عندما تسقط على بلورة . فهي تنحرف والسؤال المطروح حينئذ هو كيف تتوزع تلك الانحرافات بالنسبة لمختلف الاتجاهات في الفضاء . شعر الفيزيائيان المذكوران بأن في القيام بالتجربة فائدة على أنهما لم يكونا ينتظران عجبا ولكنهما كانا على طريق مفاجأة كبرى . إذن وجه الفيزيائيان بواسطة حقل كهربائي حزمة الكترونات محددة السرعة نحو بلورة من النيكل وسبرا الفضاء خلف تلك البلورة في شتى الاتجاهات ــ فاكتشفا ــ ويا للدهشة ــ أن البلورة لا تسمح البتة بانحراف الالكترونات في كل الاتجاهات بل في اتجاهات معينة . ثم إن تلك الاتجاهات تتفق واتجاهات الحيود ــ وسط تلك البلورة ــ لشعاع x طول موجته محدد . أي أن الالكترونات أثناء مرورها بالبلورة تسلك سلوك الموجة لا سلوك الجسيمة ـكما قد يتبادر للذهن بادىء الأمر ــ فالتجربة كانت فعلا مماثلة للتي قام بها لاوي سنة 1912 على أشعة x حين أسقط حزمة ضيقة منها على بلورة وضع خلفها صفيحة فوتغرافية ظهرت فيها بعد غسلها لطخات سوداء موزعة توزيعا منظما ، ناتجة عن تداخل الأمواج الحائدة عند مرورها وسط خلايا البلورة . ولقد كانت تلك التجربة الشهيرة التي قام بها لاوي برهانا قاطعا على طبيعة أشعة x التموجية بما أن الأمواج وحدها هي التي تستطيع أن تتداخل .

وليس بين تجربة لاوي وتجربة دافيسون وجرمار إلا فرق يتمثل في أن الطبيعة التموجية إذا كانت واقعا يمكن تصوره بالنسبة لأشعة x فإن الأمر يختلف بالنسبة للالكترون . إذ أن تجارب عديدة كانت تبدو أدلة ــ لا

تقبل الطعن ــ على أن الالكترون جسيمة لا موجة . وهكذا كان لا بّد من الاعتراف ــ انطلاقا من ذلك ــ بأن الالكترون يفقد ــ في بعض الظروف ــ طبيعته الجسيمية ويتحول إلى ظاهرة موجية ومن هنا يصبح مستحيلا ــ كما هو بالنسبة للضوء ــ التعبير عن خصائص القسيمة الأولية بنظرية توحيدية.

فما هو الالكترون ؟ أهو جسم أم موجة ؟ إنه لا هذا ولا ذاك . بل هو شيء لا يقبل أية محاولة لرسمه رسما ملموسا . فنحن في تصورنا للالكترون مجبرون على التخلي عن التفسير التوحيدي لكل التجارب المتعلقة به والتمسك بالميدان التجريبي دون سواه . فإذا ما حققنا ذلك التحديد في الرؤية تمكنا من فهم سلوك القسيمة بواسطة صورة الجسيمة أو بواسطة صورة الموجة .

وقد نتوفق بذلك إلى تفسير الوقائع بواسطة مفاهيم تقليدية ولكن أيضا باستعمال مثالين يتنافيان فلا تستطيع الصورتان بالضرورة إلا أن تتصادما باستمرار فإذا ضاعت مصداقية إحداهما ظهرت مصداقية الأخرى . ولنعد إلى حيود الالكترونات عبر البلورة فنحن مجبرون ــ عند التفسير ــ على افتراض أن الالكترونات أثناء مرورها بالبلورة تكتسي طابع الموجة فنلتجىء إذن إلى تصورها كموجة . لكن ما الذي يحدث لو التقطنا الاشعاع بواسطة شاشة نضعها خلف البلورة أي لو أننا تركنا الاشعاع يعمل عمله في صفيحة فوتغرافية أو في شاشة مضيئة ؟ إن الالكترون في تلك الحالة يمسك عن بروزه كظاهرة تموجية وينقلب بدون أي شك إلى صورة القسيمة المادية التي تصدم الشاشة في مكان ما فتتفاعل مع ذراتها. فصورة الموجة تصبح لا محل لها من الاعراب عندئذ ويجب اعتبار صورة القسيمة .

غير أن الالكترون عندما يتحول من جديد من صفة الموجة إلى صفة القسيمة في أي مكان من الفضاء يحدث ذلك التحول ؟ وهل نستطيع استنتاج ذلك من تكوين الموجة ؟

لنتصور ــ كي نتمكن من الاجابة على السؤال ــ أن البلورة قد عوضت أثناء تجربة الحيود بورقة رقيقة من مادة تتكون من بلورات مجهرية عديدة . سوف لن تكون الصورة التي يبرزها الحيود على وجه الشاشة رسما بيانيا للطخات مماثلا لرسم لاوي بل ستكون مجموعة من الأحزمة الدائرية المشتركة المركز ، واضحة وسوداء ناتجة عن تداخل الأمواج المنعكسة على بعض تلك البلورات المجهرية . لندرس ظهور الأحزمة بإجراء التجربة أول الأمر بواسطة الكترون واحد . سيكون وصول الالكترون إلى الشاشة في مكان ما . وفي هذه الحالة سوف لا ترينا الصورة المترتبة عن ذلك أي شيء واضح إذ أن اصطدام الالكترون قد سلب الالكترون خصائصه الموجية فارتد قسيمة وحينئذ لا تبرز عادة أية صورة . فإذا أعدنا التجربة بإسقاط الكترون ثان على الورقة فإن الالكترون سيضرب الشاشة من جديد في مكان ما وهكذا يكون لدينا نقطتا ارتطام سيضاف إليهما نقاط أخرى إذا نحن واصلنا ضرب الصفيحة بالالكترونات .

وينتج عن ذلك شيئان هامان : الأمر الأول هو أن الالكترون يصل إلى الشاشة في نقاط مختلفة دون أن تمكننا ظروف التجربة من التكهن بموقع تلك النقاط . أو بعبارة أخرى سوف لن تكون النتائج إلا مختلفة حتى لو أعدنا التجربة بصفة مطابقة تماما للتي سبقتها من حيث أننا نعيد نفس

الظروف في كل مرة . فها نحن ندحض فكرة السببية التي كانت الفيزياء الكلاسيكية تحملها . والسببية هنا تقتضي أن يحصل دائما نفس الشيء عند تهيئة نفس الظروف لكننا نستطيع التخمين ــ وهذا واضح ــ بأن مبدأ السببية لم ينقض إلا ظاهريا إذ أن اختلاف النتائج قد يعزى إلى أننا لا نستطيع إعادة ظروف التجربة بحيث تكون متطابقة في كل شيء . إلا أن هذا الاعتراض مردود. فباعمال الفكر يظهر لنا أن الأحزمة المشتركة المركز في الصورة الناتجة عن الحيود والمتكونة من نقاط ارتطام الالكترونات تكون إذن من فعل فوارق عارضة بحتة (لا يمكن ملاحظتها نظرا لضيقها) في الحالات الميكانيكية للالكترونات الساقطة على الورقة المعدنية . وهذا يعني أن مثال التوزيع المنتظم المشهود الذي تبرزه الصورة هو من صنع الصدفة لا غير وهذا لعمري مستبعد ففي الوقت الراهن يرى معظم الفيزيائيين أن مختلف الانحرافات التي تحدث لسير الالكترون أثناء مروره وسط الورقة ليست ناتجة عن فوارق لا تدرك في الحالات الأولية للقسيمات كما كانت الفيزياء الكلاسيكية تعتقد بل يرون فيها عمل نوع من العشوائية لم تعرفه الفيزياء التقليدية . فهذه الفيزياء كانت تعني بالصدفة غياب قانون نظرا لعدم معرفتها بالطبيعة معرفة كاملة . فإذا رد حادث ما إلى عمل الصدفة فلأنه لم يهتد إلى معرفة تحاديده السببية نظرا لاتباعه مسارا لا نستطيع متابعته في كل جزئياته، أما في ميكانيكا الكم فإن الصدفة لا علاقة لها بنقص في المعرفة بل هي تعمل في الطبيعة بطريقة خارجة عن نطاق المراقب . الصدفة هنا تعمل عملها في احداث لم تحدد أسبابها أي أنها غير قابلة لأن ترتب في تسلسل تتوالى فيه حسب قانون معين .

إن تلك الصدفة ــ ونصل هنا إلى الأمر الثاني ــ تجد نفسها مقيدة بحدود فهي لا تستطيع العمل بصفة عشوائية بل يجب أن تتجه حسب

احصائيات ملزمة . ولذلك إذا ما واصلنا تجربة الحيود المذكورة سابقا باستعمال عدد متزايد من الالكترونات برز شيء من الانتظام في توزع نقاط الارتطام التي كانت تتوزع بادىء الأمر بلا انتظام فكونت أحزمة تزداد كثافة بعضها شيئا فشيئا في حين تبقى الأخرى فارغة تماما . فالصدفة إذن ليست لها الحرية المطلقة بل هي تخضع لقوانين محددة هي قوانين النظام الاحصائي التي تبرز بعد محاولات عديدة جدا . وهكذا تبرز كل الانحرافات آخر الأمر احتمالا معينا في الاتجاه الذي اتبعته الالكترونات أثناء حيودها .

وبواسطة تلك الاحتمالات تقوم علاقة محددة بين صورة القسيمات وصورة الأمواج التي وقع حلّها . إذ تبين الآن أن احتمالات ارتطام الكترون في أية نقطة من الشاشة مرتبط بحدة الهيجان الذي تحدثه الموجة في تلك النقطة فنحن نستطيع إذن القيام ببعض التكهنات بواسطة صورة الأمواج. فكلما كان الهيجان الناجم عن الموجة في مكان ما من الفضاء قويا ، كان احتمال مصادفة الجسيمة فيه أكبر ، عندما تحاول ارغام الالكترون على التحول من جديد من صورة الموجة إلى صورة الجسيمة . وسوف نعود إلى هذا التفسير الاحصائي للصورة الموجيّة من جديد .

الفصل الرابع

أسس الميكانيكا الكمية

المفهوم الجديد للمعرفة :

لقد خلفت التجارب التي مرّ الحديث عنها وضعا لم تكن الفيزياء التقليدية تستطيع مجابهته لا لأن تلك الفيزياء أصبحت نسجا من الأخطاء ــ وإلا لما تصور عندئذ كيف تمكنت من العيش كل تلك السنوات الماضية على نظريات مخطئة ــ بل لأن مبادىء تلك الفيزياء ومفاهيمها قد استخرجت من تجارب لا تتعلق إلا بالميدان المرئي. لذلك كان لا بد من إعادة النظر في تلك المبادىء والمفاهيم لما أصبحت القسيمات والذرات محل بحوث تجريبية . فالأجسام المجهرية ليست مثالا مصغرا للأجسام المرئية بل هي هياكل تنطبق عليها إمكانات قيس تختلف تمام الاختلاف عن تلك التي تستعمل على المستوى المرئي . ثم إن خاصية عدم الانقسام للقسيمة الأولية يمثل في حدّ ذاته عائقا أمام كل قيس في الفضاء. فما هو حجم الالكترون؟ أي شكل يرتدي ؟ سؤالان لا تستطيع التجربة الاجابة عنهما وفعلا نحن لا نستطيع قيس حجم الالكترون مباشرة بواسطة نقاط نعاين المسافات الفاصلة بينها في سلم قيس معين .

ثم إنه لا بدّ بالاضافة إلى ذلك من ابراز أن بعض الأقيسة التي يمكن القيام بها على القسيمة الأولية تشكل في حد ذاتها حاجزا ضد القيام بقياسات أخرى بحيث يصبح من المستحيل القيام بكل الأقيسة وفي نفس الوقت ومعنى ذلك أن القيام بقيس ما في بنية مجهرية يعني دائما التدخل فيها وتغييرا في

حالتها.ثم إن ذلك التغيير يحدث بطريقة لا يمكن التنبؤ بها لأن تفاعل الهيكل المجرى عليه القيس مع آلة القيس نفسها يتم ضمن عملية أولية لا يمكن تحليلها فهي خارجة عن كل مراقبة ومن هنا جدّت قيود أمام استعمال بعض المفاهيم ترجمت عنها علاقات التشكك الأساسية وتلك العلاقات تحرم مواجهة الحالة الموضوعية للأشياء **فليست الطبيعة الموضوعية إذن هي محور الدراسة في الفيزياء بل إن محور الدراسة هو الطبيعة في علاقاتها مع مراقبها .**

فإن تتغير امكانات القيس فذلك يعني أن بعض المفاهيم المتداولة حتى ذلك الوقت قد فقدت معانيها وأصبحت تتطلب تعاريف جديدة وهذا ما أضفى على مسيرة التفكير في الميكانيكا الكمية ، طابعا غريبا بما أن الميكانيكا الكمية تفرض أسلوبا جديدا في التفكير على الذين يودون التعمق فيها. ويمكن القول بأنها أثارت حولها ضجة لا بنتائجها بل ـــ وبدرجة أكبر ـــ بصراعها المستميت ضدّ عادات متجذرة في تفكير الناس . فقد كان صراعا لا مفرّ منه إذ أنه لم يكن هناك إلا خياران أمام النظرية الجديدة إما التخلي عن كل فهم للأحداث التي تم الكشف عنها أو رفض بعض المسبقات التي كانت حجر عثرة أمام تقدم المعرفة. لذلك كانت المسألة الأساسية تنحصر في الأهداف الخاصة للفيزياء فقد كان الناس عادة يتمسكون بأن الفيزياء يجب أن تسهم في فهم الطبيعة. فليكن . لكن ماذا يعني ذلك ؟ ومتى نستطيع الجزم بأن ظاهرة طبيعية ما قد تم فهمها ؟

وقد يغوينا التفكير بأن من الضروري ايجاد سبب منطقي لحدوث الظاهرة المراقبة وفق هذه الطريقة بعينها دون سواها إلا أن الأمر عندئذ يصبح مجرد ارضاء مقصود لالزام غير قابل للتحقيق في حدّ ذاته . فالطبيعة لا تتسع

للمنطق فحسب وليس للفكر ركيزة يعتمدها في تصور كون لا يصح فيه أي قانون من القوانين الطبيعية المعروفة . فلا مناص إذن من اعطاء الفهم — كمفهوم — معنى أكثر تواضعا وتصوره على النحو التالي : نقول بأن هذه الظاهرة مفهومة عندما نتمكن من البرهنة على أنها تحدث وفق قانون طبيعي محدد معروف فمتى توصلنا إلى ذلك اعتبرنا الظاهرة قد فسرت.فكل تفسير في الفيزياء إذن ، يتمثل في اخضاع الظاهرة التي تستدعي التفسير إلى قانون طبيعي. ثم بالاضافة إلى ذلك لا بدّ لنا من اعتبار القانون كمعطى لسنا في حاجة إلى التعمق فيه وليس لنا أن نعرف لماذا تسير الطبيعة وفق هذا القانون بعينه لا وفق غيره . فالقوانين — وان حكمت الظواهر الملاحظة — لا يمكن تفسيرها في حدّ ذاتها فهي لا تمثل ضرورات منطقية بل إنها لا تقام إلا من التجربة. لنأخذ مثلا قانون سقوط الأجسام فهو يعرفنا بأن طول المسافة التي يقطعها الجسم الهاوي من تلقاء نفسه يزداد بالتناسب مع مربع الوقت.فالفيزياء تعلمنا ذلك لا لأن ذلك لا يمكن أن يكون مغايرا بل لأن تلك هي الفصول الدقيقة للتجربة فلا نستطيع إذن الدفاع عن أننا قد فهمنا سقوط الأجسام إذ ليس هناك منطق يفرض عليها فعلا أن تسقط بتلك الطريقة دون سواها .

إن كل القوانين الطبيعية ترتكز على الحدس أي على الفكرة القائلة بأن كل ما تمت ملاحظته دائما لحدّ الآن هو وحده الكفيل بأن يقودنا إلى تبرير ما يحدث . وهكذا كان الناس يقنعون أنفسهم بطابع المحافظة المطلقة في الطبيعة فهي لا تستطيع الخروج عن عاداتها إلا أن ذلك لا يعدو أن يكون مجرد احتمال وفق نظرية الحدس السخية . إذ لا شيء يضمن أن الطبيعية لن تتغير وأن ظاهرة ما بعد أن حدثت ملايين المرات وفق قانون معين لن تنتهج سبيلا آخر فتتبع قانونا آخر مخالفا تماما . إن كل القوانين عرضة لأن تجد نفسها مدحوضة يوما ونحن لا نريد أن نشكك بذلك في مصداقية

الفيزياء ولكننا نضع أمام أعيننا فقط أن القوانين الطبيعية ليست من ضرورات الفكر وحينئذ لن نفهم لها كنها فنعرف لها سببا أو نعرف لماذا كانت على ذلك النحو .

مسألة « الشيء الملموس » :

لكن بما أننا لا نفهم القوانين الطبيعية فكيف نعترف بها ؟ إننا نعترف بها لأننا نلاحظها ولأنها تمكننا من القيام بتكهنات صحيحة . ومثل تلك التكهنات شرط لكل تقنية . وعلى ذلك الأساس يصبح من الخطل تجهيز آلة إضاءة إذا لم نكن نعرف مسبقا أن المصباح سيضيء بدون شك عند اكتمال ظروف معينة . ويقيننا ناتج عن قانون طبيعي هو قانون « جول القائل بأن حرارة كل موصل ترتفع عند ربطه بتوتر كهربائي .

إن الميكانيكا الكمية تدعي إذن أن كل ما يطلب من أي قانون طبيعي هو أن يمكننا من التكهن الصحيح . لذلك ليس من المهم أن تكون الدلائل المؤدية إلى ذلك التكهن مرتبطة بتصور ملموس أم لا . فالقوانين في الفيزياء الجديدة بعيدة كل البعد عن الملموس فهي ليست سوى معادلات رياضية تمكن من ربط حاضر هيكل ما بمستقبله . إنها معادلات تجعلنا قادرين مسبقا على معرفة النتيجة في كل تجربة نجريها عليه فنتمكن مثلا من التكهن مسبقا بأن الاشعاع الضوئي سيأخذ شكل الحركة التموجية أو شكل الحركة الجسمية أثناء قيامنا بتجربة معينة . ولقد عيب في ذلك أن التكهن لوحده لا يؤسس علما بل لن نتمكن من فهم الطبيعة فهما حقيقيا إلا إذا أصبحنا قادرين على تصورها بواسطة صور ملموسة .

والملموس مفهوم لا يخلو تعريفه من الالتباس.فعندما يذهب بنا التفكير إلى الملموس فإننا لا نفكر فيه بواسطة تمثيل عيني بحت لأن المفاهيم التي

تعتبر ملموسة هي مفاهيم لا يعلق بها إلا بقية محتوى يمكن تمثيله . فللتعود أهمية أكبر من ذلك بكثير . ثم إن من بين كل المفاهيم في الفيزياء أكثرها تداولا لدينا مفاهيم الميكانيكا للتي نصادفها أغلب الأحيان أثناء حياتنا اليومية . لذلك نعتبر التفسير ملموسا متى مكننا من ارجاع مجموعة من الظواهر إلى حركات . فالتفسير الحركي للحرارة يمكن أن يصلح كخير مثال لما يسمى في هذا السياق بالنظرية الملموسة . ومازالت نظريات مكسويل في الكهرباء والمغناطيسية تعتبر لحد الآن نظريات ملموسة لأن المفاهيم التي تستعملها أصبحت بفعل الزمن مفاهيم معروفة متداولة رغم أنها لا علاقة لها بالميكانيكا . فبصفة عامة إذن تنعت النظرية بكونها ملموسة عندما تكون كل المفاهيم التي تستخدمها مأخوذة من الفيزياء الكلاسيكية .

وعلى ذلك الأساس ليس للميكانيكا الكمية المعاصرة طابع ملموس فهي تلتجيء في تصورها لما يحدث على المستوى المجهري إلى مفاهيم غريبة عن الفيزياء الكلاسيكية خالية من كل معنى فيها . فحسب الميكانيكا الكمية لا يمكن أن يكون للقسيمة الأولية في أية حالة من حالاتها موضع محدد لا لأن ذلك الموضع مجهول لدينا فحسب بل لأن حالة القسيمة هي التي لم تحدد بالنسبة للموضع . ومثل هذا التصور للحالة يناقض كل ما كنا اعتدناه ومن هنا لن نحس به كشيء ملموس .

ومازال للملموس لحدّ الآن أنصار ، خاصة وبدون شك من بين الفلاسفة والفيزيائيين أيضا وهم يجعلون من رفضهم للنظريات المجردة مهنة فيرفضون الميكانيكا الكمية مثلا ويساندون التصور القائل بأن الظاهرة لا تفهم حق الفهم إلا عندما نصبح قادرين على تفسيرها تفسيرا ملموسا.ولكننا لا نشاطرهم ذلك الرأي.ففي اعتقادنا لا يحقق التفسير الملموس ما يطلب من التفسير غير الملموس تحقيقه.فكلا التفسيرين لا يمكن إلا أن يرتكزا على

قانون طبيعي. والفرق الوحيد بينهما هو أن التفسير غير الملموس مجبر على استعمال مفاهيم جديدة لم نعتدها في قولبة القوانين لأن آلة التصور المستعملة لا تتفق البتة وما يستخرج من الاكتشافات الجديدة . فالمفاهيم الجديدة هي التي تثير المعارضة وليس عدم الاطمئنان الذي يرافق تقبل تلك المفاهيم في بعض الأحيان بأكثر منطقية من عدم الاطمئنان الذي يرافق اصدار أوراق مالية جديدة تحت ضغط ظروف ما . ففي الحالتين يتعلق الأمر بأفكار مسبقة مفادها أن الشيء المعتاد يبعث على الاطمئنان أكثر مما لم يعتد .

ورغم كل ذلك نحن لا نستطيع منع أي أحد يطالب بأن تكون المعرفة ملموسة فذلك تصوره للمعرفة وحينئذ تعريفه لها هو حر في تنظيمه كما يشاء . إلا أن تعريفه لن يقوده بعيدا ولن يبقى له عندئذ إلا تقبل الميكانيكا الكمية الحالية كحل مرحلي وأن يقنع نفسه بأن يوما سيأتي فننجح فيه في فهم ما يحدث على المستوى المجهري بواسطة قوانين الفيزياء الكلاسيكية .

طريقة الميكانيكا الموجية :

لقد سبق أن رأينا أن فضل رمي السهم الأول في كون الذرة كان من نصيب نيلس بوهر فكان رفضه لفكرة تواصل الظواهر المعمول بها في الفيزياء الكلاسيكية ، أمرا عظيما لأنه كان من المستحيل تصور سلوك للذرة وفق تلك القاعدة .

وما يلفت النظر في الذرة هو قدرتها على اصدار حزوز طيفية . لماذا لا تشع كل ذرة إلا ضوءا ذا ذبذبة معينة بالتدقيق يتميز بها العنصر الذي تنتمي إليه تلك الذرة ؟ لقد تمكن بوهر من حل المشكل بأن افترض أن دوران الالكترون حول النواة لا يمكن أن يحصل إلا حسب مدارات مضبوطة. فللذرة إذن سلسلة خفية من الحالات الحركية متباينة. وكان ذلك الافتراض هو

الوحيد المرخص فيه لأن مبدأ طبيعيا يمنع الذرة من اكتساب كل الحالات الأخرى التي يمكن تصورها في الفيزياء الكلاسيكية . فالحزوز الطيفية ناتجة إذن عن قفز الذرة من حالة « واقفة » إلى أخرى فيتحول فارق الطاقة بين الحالتين إلى اشعاع ذي ذبذبة V تتناسب وذلك الفارق . ولقد تمكن بوهر من البرهنة على أن بعض الافتراضات تؤدي إلى قانون بلمير وإلى قيمة صحيحة لثابت ريدبرغ Rc

إلا أن ثمن تلك النتيجة الباهرة في تلك النظرية كان التخلي عن الوضوح . فالنظرية ترتكز من ناحية على مبادىء الميكانيكا الكلاسيكية فتعتمدها في ضبط الحركات الدائرية للالكترون ثم هي من ناحية أخرى تصرح بأن تلك المبادىء نفسها لا تكفي من حيث أن النظرية تعتبر أن البعض فقط من تلك الحركات الممكنة حسب تلك المبادىء قابلة للتحقيق . أما لماذا لا تستطيع الالكترونات القيام إلا بتلك الحركات فذلك سؤال يبقى بلا جواب كما أننا نجهل لماذا لا يضيع الالكترون بعض طاقته بالاشعاع أثناء الدوران في مداره « الواقف » ، خلافا لما تؤكده نظرية مكسويل الكلاسيكية. ثم بالاضافة إلى كل ذلك هنالك التناسب القائم بين الذبذبة والطاقة المشعة وهذا أمر ـــ من وجهة نظر الفيزياء التقليدية ـــ سهل فهمه . فنظرية بوهر إذن لا تفي بشروط الفهم وتلك هي الثغرة التي حاولت الميكانيكا الموجية سدّها اثني عشرة سنة بعدها .

لقد أسس تلك الميكانيكا «لوي دي براي» سنة 1924 ثم هذّبها في السنة التالية «أروين شرود نغر». فقد جعل العالمان نصب أعينهما تصور نظام ميكانيكي يعمل وفق قوانين الفيزياء الكلاسيكية ويمكننا من تبرير افتراضات بوهر . فكانا لا ينتظران فهما واقعيا للذرة إلا بواسطة نظرية ملموسة خلافا لفرنار هيزنبارغ الذي تخلى منذ البداية عن تلك الغاية وعارض الميكانيكا الموجية

بصورة مجردة.للميكانيكا الكمية.وتبين من بعد أن طريقتي المعالجة لم تكونا سوى غطائين مختلفين لنظرية واحدة إلا أن الفرق في الشكل كان من العظم بحيث اعتقد الناس بادىء ذي بدء أن الأمر يتعلق فعلا بفرق شاسع بين النظريتين. فلنتمسك أولا بالنظر في الطريقة التي توختها الميكانيكا الموجية. فقد اعتزم دي براي وشرودنغر دراسة سلوك الذرة انطلاقا من الحصيلة التصورية التي كانت بين أيديهم أي بالارتكاز على المعادلات التفاضلية دون سواها قصد تفسير كل التقطعات الملاحظة. وكانت الصعوبة التي يجب تخطيها هي توضيح الطريقة التي تتوخاها الطبيعة في خلق معادلات على مستوى الذرة تظهر فيها الأعداد الكاملة في حين أن الذرة تعمل حسب مبادىء الفيزياء الكلاسيكية بصفة متواصلة . فإذا ما روجعت المعارف المتوفرة في الفيزياء انذاك وصدقت كانت الأحداث الاهتزازية هي الوحيدة من بين الظواهر الطبيعية التي تتقبل ظهور الأعداد الكاملة . وهي أعداد في تلك الحالة ناتجة في الظروف الحدودية التي يخضع لها الجسم المهتز . لنأخذ كمثال وتر آلة الموسيقى أثناء اهتزازه إذ يمكن التعبير عن حركته بواسطة معادلات تفاضلية تقبل تعدد الحلول المترافقة بصفة متواصلة غير أننا إذا شددنا الوتر من طرفيه بحيث يكونان ساكنين فإن الظروف الحدودية تقيّد تلك التعددية فتجعلها سلسلة خفية من الحلول تكفي الأعداد الكاملة في وصفها لأن الوتر لا يستطيع أن يهتز إلا إذا كان طوله قابلا للقسمة على اعداد كاملة من طول الموجة .

وذلك ما قاد دي براي ـــ وهو يهدف إلى تفسير الحالات « الواقفة » التي افترضها بوهر ـــ إلى التفكير في أن تلك الحالات يمكن أن تكون مرتبطة بتداخل بين تلك الحالات نفسها وبين حركة موجية.ولم يكن واضحا ـــ من أول وهلة ـــ أن لحركة الالكترون الدائرية حول النواة صلة بالحركة

التموجية فهل الالكترون آخر الأمر موجة أم جسيمة ؟ لأن يكون موجة فذلك ما لا يقبله العقل إلا بعسر إذ في أي وسط يجب أن تنتشر تلك الموجة إذن ؟ إن الجواب على ذلك السؤال كان لا شك صعبا إلا أنه كان في الامكان التخلي عن تلك المسألة بصفة مؤقتة . على أمل العودة إليها يوما والنظر إلى أي مدى تصل بنا تلك الفكرة .

ولم يلبث العلماء أن تبينوا أن تلك الفكرة تقطع بهم أشواطا بعيدة ففعلا عند تعويضنا في رسم مجمل ، الحركة الدائرية للالكترون بموجة فإن خطا يبرز في الخط الدائري الذي يمثل مسار الالكترون هو خط الموجة فإذا ما واصلنا بعد أن يقطع الالكترون دورة كاملة رسم خط الموجة بحيث يدور ثانية حول النواة فإن أحد الأمرين يحدث إما أن يكون طول المسار عددا كاملا بحساب طول الموجة كوحدة وعندئذ يكون لآخر الموجة نفس طور بدايتها فيكون الخط الثاني مدعما للخط الأول وهكذا دواليك بالنسبة لكل الخطوط المتتالية الأخرى . وإما أن يكون الأمر غير ذلك فتتداخل الحركات التموجية وتنقرض بما أنها تتجمع في كل نقطة من الخط ، متخالفة الأطوار .

لقد كان تفسير مسارات الالكترون « الواقفة » على ذلك النحو فكرة جذابة فتلك المسارات إذن ظواهر تداخل وهكذا أصبح ممكنا فهم اضطرار الالكترون إلى اتباع سلسلة خفية من المسارات المعينة وأصبح أيضا ممكنا تفسير بروز الأعداد الكاملة في متسلسلة بلمير واختفت عنها تلك المسحة الصوفية التي كانت تكسوها فإذا هي متأتية من أن التداخل لا يقوي هيجان الموجة إلا من خلال علاقات تقوم على الأعداد الكاملة .

إلا أنه كان لا بد لدي براي ــ قصد تحقيق الارتباط بنظرية بوهر ــ من اكتشاف احتساب يمكن تطبيقه بالنسبة لأطوال الموجات وذبذبات

الحركات التموجية الرافقة للالكترون فالسؤال كان إذن : بأي شئ كانت تلك المقادير مرتبطة ؟ من الواضح أن تكون لها بالضرورة علاقة ما بسرعة تنقل الالكترون ولا شك أيضا في أنْ تكون هناك علاقة بثابت « بلانك » h . فكل شيء آت فعلا في نظرية بوهر من ذلك الثابت بحيث يجب أن يقحم في كل تفاسير النظرية ولقد تبين فعلا أنه يمكن الوصول إلى الحالات الواقفة التي وضعها بوهر ، لو أرفقنا حركة الالكترون بموجة يكون طولها $\frac{h}{mv}$ وذبذبتها $\frac{E}{m}$ حيث m هي كتلة الالكترون v سرعته وE طاقته . ولم تكن توجد — عند وضع دي براي لتلك المعادلات الشهيرة — أية إمكانات لاثباتها عن طريق التجربة ولكن دافيسون وجرمار تمكنا من اثباتها ثلاث سنوات من بعد إذ بيّنا في بحوثهما أن الالكترونات تتحول فعلا أثناء مرورها وسط بلورة إلى اشعاع وطول موجته $\frac{h}{mv}$

ثم تبنى شرودينغر فكرة لوي دي براي في أن كل الظواهر المجهرية لا يمكن فهمها إلا على أساس صورة الحركة التموجية فجعل من المعادلة الشهيرة التي تحمل اسمه نظرية مستقلة يمكن تطبيقها على كل المجهريات. فمعادلة شرودينغر تشكل ذروة الميكانيكا الموجهة فقد كانت سهلة الاستعمال إذ أن حلولها أصبحت بالفعل ميسرة نتيجة الطرائق الرياضية التي تمت تهيئتها بعد.فقد أعد الرياضيون تلك الطرائق قبل أن تجد الفيزياء نفسها مدينة لها في يوم من الأيام. فمعادلة شرودينغر تدخل كمجهول، تابعا $\psi(x,y,z)$ يمكن اعتباره إثارة تموجية مرتبطة باحداثيات الموقع (x y z) ثم بالاضافة إلى ذلك فهناك ثابت يرجع بنا إلى الطاقة التي يرمز إليها بـ E وأهم خصائص معادلة شرودينغر — من وجهة نظر الميكانيكا التموجية — إذن — هي أنها لا تصلح إلا لحل سلسلة خفية معينة من قيم الطاقة E_0, E_1, E_2

إلخ ... وهكذا تكون قيم E_1 مرتبطة بنوع الجسم المجهري فإذا كان ذرة ذات الكترون واحد يتحرك فإن E_1 تتعلق بحقل القوة التي تقع فيه حركة ذلك الالكترون .

فالميكانيكا الموجية إذن تستطيع أن تفخر بأن تطبيقها على ذرة الهيدروجان يؤدي في حساب الطاقة إلى كل القيم $\frac{R.\ h}{1^2}$ التي اعترضت سبيل بوهر ويمكّن من تفسير الحزوز الطيفية لذرة الهيدروجان. فبوهر لم يستطع تفسير الحالات الواقفة في تلك الذرة إلا بالاعتماد على افتراضات تسلطية مصطنعة فها أن تلك الحالات تبدو الآن كمفعول طبيعي ناتج عن تداخل حركة موجية مع مثيلاتها وينقرض بعدم تمسك طول الموجة بشرط معين ومع ذلك مازلنا بعيدين عن اكتمال نظرية ملموسة حقا لطيف الهيدروجان إذ أن كلا من بوهر وشرودينغر اضطرا إلى أن يفترضا أن المرور من حالة واقفة إلى أخرى يتم بواسطة فعل لا يمكن تحليله تحليلا فضازمنيا وبه يتحول فارق الطاقة بين الحالتين المعنيتين إلى كمية ضوئية $h\ v$ وهذه ظاهرة لا تستطيع الميكانيكا الكلاسيكية تصورها .

الموجات في الميكانيكا الموجية ومعناها :

كان لوي دي براي ورافين شرودينغر قد حددا للميكانيكا الموجية هدفا هو تفسير سلوك الذرات والقسيمات المادية الدنيا تفسيرا « ملموسا » أي بواسطة مفاهيم وتصورات من الفيزياء الكلاسيكية فلم يهتديا لبلوغ ذلك الهدف إلا إلى طريق واحدة هي ربط حركة القسيمات بصورة الحركة التموجية وهذا ما مكن على كل حال من تفسير الحالات الواقفة المشهودة إلا أن ذلك جعل النظرية تجابه صعوبة جديدة إذ أصبح السؤال المطروح عندئذ فهم العلاقة القائمة بين الموجة والجسيمة . فهل أن الموجة والجسيمة حقيقتان واقعا ؟ أم أن أحدهما فقط تمثل الواقع والأخرى مجرد خدعة ؟

إن تصورات كثيرة في هذا المجال جائزة فاختار شرودينغر الجذري منها وهو تصور يفتح من أول وهلة على آفاق عريضة فشرودينغرلم يكن يرى الواقع إلا من خلال الموجات وكان مقابل ذلك يعتبر الجسيمة كتشكيلة يحدثها تداخل الموجات. فما عسانا نبصر لو أن الفضاء كله كان مسرحا لحركة أمواج لا تتعاضد فيه إلا داخل جزء صغير جدا وتنقرض خارج ذلك الجزء نتيجة التداخل ؟ إن ذلك الجزء الصغير جدا من الفضاء يصبح مليئا بالحركة وحينئذ مليئا بالطاقة وهذا ما يدفعنا حسب تكافؤ الكتلة والطاقة إلى الاصداع بأن ذلك يولد كتلة معينة فيعرض لملاحظتنا كقسيمة ذات كتلة وبهذه الطريقة تستطيع الحركة التموجية الايحاء بقيام قسيمات ليس لها وجود ذاتي غير أنها لا تعيش إلا بفضل الأمواج فتصبح إذن لا شيء غير قطرات من الطاقة المكثفة . إلا أن هاته النظرية الجذابة لا وجود لعنصر واحد يدعمها . إذ لا شيء يجعل القسيمات تتجمع فترة من الزمن فهي إذن إلى الانقراض بعد فترة تطول أو تقصر ولكن للحركة التموجية حياة طويلة جدا نسبيا نظرا لانتشار الموجات المرتبطة بها بسرعة معينة في الفضاء ومن هنا كان التداخل الحاصل بين الأمواج يتنقل في الفضاء ومعنى ذلك أن الجزء الصغير من الفضاء المتحدث عنه سابقا والمتداعمة فيه الأمواج ، يتغير مكانه مع الزمن كما يتغير شكله فينتج عن ذلك مشكل الفضاء المتزايد باطراد والمتلاشي داخل حدوده وهذا ما يمنعنا من اعتباره قسيمة من حيث أن القسيمة هيكل ثابت مع الزمن فلا بدّ والحال هذه من التخلي عن تفسير شرودينغر للموجة .

الأمواج كصورة لتابع احتمال :

لقد أعاد ماكس بورن النظر في تلك المحاولة بطريقة مضادة فاعتبر القسيمات واقعا وعارض مقابل ذلك واقعية الأمواج كظاهرة فيزيائية بل لم

ير فيها إلا صورة ملموسة لتابع رياضي يحدد احتمال حصول بعض نتائج القيس. ففي رأيه يجب أن يؤخذ التابع ψ (xyz) المعبر عن الاثارة الموجية على أنه العنصر الحاسم في احتمال تحديد القسيمة تحديدا يطابق الاحداثيات (xyz) وهذه هي النظرية الرسمية السائدة لحد هذا اليوم وعلى أساسها بنى هيزنبارغ وديراك هيكلا للميكانيكا الكمية مثيرا قد تخلص من كل التناقضات .

وإذا كان تصور بورن مطابقا للأحداث فمن المستحيل أن ندعي أن ظاهرة موجية يمكن أن تحدث في الفضاء فالأمواج لن تكون عندئذ إلا صورا نستطيع ـــ شريطة أن نفهمها فهما صحيحا ـــ استنتاج النتائج المحتملة للقياسات منها وذلك ناجم عن حجم الاثارة التي تحدثها الأمواج فكلما كانت الاثارة قوية في موضع xyz زاد احتمال العثور على القسيمة فيه . ولقد سبق أن رأينا عند عرضنا لظاهرة الحيود أن وجهة النظر هذه تفسر دون أية صعوبة الأحداث الناتجة عن الحيود ولعل أهم ما يميزها تسببها في نهاية فكرة الحتمية الضيقة للظواهر الطبيعية في الفيزياء . فالميكانيكا الموجية لا تسمح بالتكهن المحتم بمستقبل نظام معين بل هي تقتصر على القول بأن الوضع المستقبل سيكون له هذا الاحتمال أو ذاك في أن يكون الهيكل في هذه الحالة أو تلك ومعنى ذلك أن القانون الاحصائي في الفيزياء الجديدة قد عوض السببية الضيقة .

السببية والاحصائية :

سبق أن تحدثنا عن التغيير الأساسي الذي طرأ على مفهوم السببية في الفيزياء الحديثة فما هي السببية ؟ ولا نريد أن نعنيَ هنا السببية بالفكرة المسلمة مسبقا ولكننا نريد أن ننظر إلى مبدأ السببية كعرض قد يكون صحيحا

وقد يكون مخطئا ولمزيد الايضاح إن الأمر يتعلق في هذا المقام بالمقدمة القائلة بأن نفس الظاهرة تصدر دائما في نفس الظروف عن نفس الحالة الأولية فإذا نظّمت الطبيعة ذلك النظام فإن كل شيء فيها يمكن التكهن به مسبقا. واعتمادا على التجربة المكتسبة قد يصبح في الامكان التكهن بما سيحدث في أي نظام عندما يكون في حالة وظروف معينة .

إن مثل ذلك التعريف للسببية لا يشمل التصور العادي الذي يكتفي بتفسير أكثر بساطة فالسببية ببساطة تعني ألا فعل بدون سبب وهذا يضاهي فكرة اشتقت من فلسفة أرسطو تعني أن كل ظاهرة يمكن تجزئتها إلى قسمين مرتبطين ارتباط المسبب بالفعل إلا أن تلك الصورة لا معنى لها من وجهة نظر الفيزياء فليس هناك سبب واحد لمجموعة ما من الظواهر بل إن هناك عددا لا متناهيا من الأسباب المترابطة ترابط الحلقات في السلسلة . ولذلك كان عدد الحلقات السببية لا متناهيا هو بدوره فعندما يحدث أن تصيب آجرة في يوم عاصف رأس رجل يتنزه فإن السبب المباشر للحادث هو العاصفة التي اقتلعت الآجرة إلا أن للعاصفة سلسلة كاملة من الأسباب فلقد هبت نتيجة تضافر ظروف جوية ومعنى ذلك أن تلك الأسباب تحيلنا بدورها على تحديدات أخرى متعددة . ثم بالاضافة إلى ذلك لا بد من تضافر عدد وافر من الأسباب لكي تتقوض الآجرة إلى درجة أنها لن تستطيع الثبات أمام العاصفة .

فالفيزياء من هذه الزاوية تظهر السببية كمبدأ متشعب تشعبا لا مثيل له خلافا لما يبدو عادة في نظر الفلسفة . فحدوث الحادث (ح) لا يعود بنا فقط إلى الحادث (ح1) كسبب له بل يرجعنا إلى كل ما حدث في الكون فلا يكفي إذن أن نقول عند رسم السببية أن لهذا الفعل سببا بل على الفيزيائي ـــ عند ادخاله قانونا يتضمن السببية ـــ أن يعني بتلك اللفظة خاصية

في الطبيعة يعبر عنها مبدأ عام وهو لن يستطيع تبيان ذلك المبدأ بصفة مرضية إلا إذا كان للطبيعة وجه يمكّن من استنتاج حالتها المقبلة من حالتها الحاضرة وهذا تعريف مطابق في جملته للتعريف الذي كنا بصدد الحديث عنه أي أن السببية كائنة في الطبيعة كلما كانت نفس السلسلة من الحالات تنتج دائما عن نفس الحالة الأولية .

إن تلك الرؤية صالحة للفيزياء الكلاسيكية ولفيزياء الكم أيضا فمن الخطأ الشائع جدا حتى في وقتنا الحاضر أن نفترض أن الفيزياء الحديثة تدير ظهرها للسببية فمن واجب كل فيزياء أن تقبل بإمكان الانتقال إلى المستقبل انطلاقا من الحاضر إذ أن التخلي عن هذا المبدأ يعني أن كل الظواهر الطبيعية لا يحكمها أي قانون . وفي هذه الحالة تفقد الفيزياء كل أسباب وجودها .

فميكانيكا الكم إذن تعترف بالسببية ويعبر عن السببية فيها ـــ كما هو الحال بالنسبة للفيزياء الكلاسيكية ـــ المبدأ القائل بأن في الامكان الانتهاء إلى ما ستكون عليه حالات النظام الفيزيائي المقبلة انطلاقا من حالته الأولى وباعتبار التأثيرات المسلطة عليه ولا فرق بين الفيزياء الكلاسيكية والفيزياء الحديثة إلا في المحتوى المضمن في **مفهوم الحالة** فالفيزياء الكمية تفهمه بطريقة مغايرة لطريقة الفيزياء الكلاسيكية .

فالحالة هي الوجه الذي يتخذه نظام ما في لحظة ما . والفيزياء الكلاسيكية كانت تتصور أنها تستطيع تحديد ذلك الوجه بواسطة القيم الصحيحة لمختلف المقادير التي يمكن قيسها في ذلك النظام.لنأخذ كمثال بسيط جدا نظاما لا يتكون إلا من قسيمة واحدة فالمقادير التي يمكن قيسها في هذه الحالة هي مثلا احداثيات الموضع xyz ومركبات السرعة (أو مركبات الدفع) والطاقة الحركية والطاقة الكامنة للقسيمة إلخ ... ولكل من تلك

المقادير ، في حالة معينة ، قيمة محددة مضبوطة بحيث يمكن وصف نوع الحالة بسرد تلك القيم وذلك هو التصور الكلاسيكي للحالة . إلا أن علاقات التشكك ـــ وسنعود إليها بعد قليل ـــ حرمت على الميكانيكا الكمية قبول ذلك التصور فعلاقات التشكك تجعل قيمة المقايس في حالة معينة غير ثابتة وبعبارة أخرى لنفرض أن لنا نسخا عديدة من النظام المعني لها نفس الحالة ففي هذه الصورة إن القياسات المتعلقة بمقادير الحالة والتي نقوم بها في كل نسخة لا تؤدي دائما إلى نفس القيم بل إلى عدد كبير من القيم المختلفة يمكن بالمقارنة المتبادلة أن نستنتج منها الاحتمال الذي يمثله ذلك النوع من الحالات أو إن شئنا قلنا إنه حسب الميكانيكا الكمية لا تناسب حالة ما قيمة معينة للمقادير المتعلقة بها بل تناسبها احصائية معينة ، احصائية ترفق كل القيم الممكنة باحتمال معين يقتضي أن نجد فعلا تلك القيم أثناء قيامنا بالقيس .

ففي الميكانيكا الكمية تعنى السببية **إذن أننا اعتمادا على الحالة الأولى للنظام نستطيع التكهن بحالاته المقبلة على أساس أن نضفي على تلك الحالات معنى احصائيا .**

علاقات التشكك :

إن الطريقة الوحيدة لتناول الطبيعة بالدرس هي مراقبتها إلا أننا أثناء مراقبتنا لها نتدخل فنغير حالتها وهكذا يمكن القول بأن هدف الفيزياء ليست الطبيعة في حد ذاتها بل الطبيعة كيفما تعرض للملاحظ . فلا قيس يترك حالة المقيس سليمة وكيفما تصرفنا فإن النظام دائما ردّ فعل بل نذهب إلى أكثر من ذلك فنقول إن ردّ الفعل هو الذي يعطينا نتيجة القيس فإذا ما أردت تحديد مكان جسم مثلا لا بد لك من اضاءته والضوء المرتد عنه هو الذي يبين لك مكانه.

كذلك الأمر عند قيسنا للتيار الكهربائي فنحن نمرره داخل مقياس التيار فتتحرك عقرب المقياس وتنحرف تحت تأثير التيار الذي يحدثه الحقل المغناطيسي وكمثال ثالث نذكر قيس الحرارة فالجسم الذي يراد قيس حرارته يوصل مباشرة بالمحرار فتتغير حرارة المحرار حتى تصبح مساوية لحرارة الجسم وذلك بامتصاص الحرارة أو البعض منها إلى أن تتعادل حرارتا المحرار والجسم . وفي كل الحالات التي ذكرناها إن الطريقة نفسها التي يرد بها النظام الفعل أثناء عملية القيس هي التي تحدد نتيجة القيس (خاصة إذا أخذت بواسطة عدد) .

وهذا معروف منذ القدم ويقرأ له حساب فتعتمد عناصر تصحيحية إلا أن العلماء كانوا متأكدين من أن في الامكان مبدئيا التخفيف من عمل ردّ الفعل كما يشاؤون وذلك باتخاذ الاحتياطات الضرورية أثناء القيس فقد نستطيع الوصول بذلك إلى الفصل بين النظام وملاحظه فنبلغ عبر ذلك الطبيعة نفسها خالصة .

وها أن الشك يتسرب من جديد إلى صحة ذلك الافتراض فإذا كان بلانك على حق فإن الضوء لا يمكن أن يظهر لنا في كميات من الطاقة قابلة للتجزئة بقدر ما نريد بل في شكل كميات لا تنقسم فينتج عن ذلك ـــ على الأقل بالنسبة للأقيسة التي يستوجب القيام بها استعمال الضوء ـــ حدّ أدنى لا يمكن تجاوزه في التخفيف من أهمية رد فعل النظام المعرض لعملية القيس . وبذلك ننتهي إلى الاعتماد بأن بلانك لم يكتشف إلا حالة خاصة في وضع عام **هو أن كل تفاعل بين القسيمات الأولية أو بينها وبين الضوء يقوم في مجال الفضاء والزمن بواسطة أعمال أولية غير قابلة للتجزئة.** فإذا قيست تلك الأعمال بوحدة قيسْ تسمى فعلا كانت قيمتها تساوي ثابت بلانك . وبذلك يكون هذا الثابت ميزانا لرقة الشبكة التي تفصم استمرارية ما يحدث في

الطبيعة وتلك الشبكة تتكون من أعمال أولية ليس في وسعنا تحليل مجراها الفضازمني لا لقصور في سعات الملاحظة راجع إلينا لأن نوع العمل نفسه لا يسمح بأن يوصف بواسطة المفاهيم التي في حوزتنا ثم إن رقة حبيبات الشبكة تحجبها عن كل كشف عيني هو ركيزة الفيزياء الكلاسيكية . ذلك هو ما يواجهنا منذ البداية عندما نشرع في دراسة الكون الذري . إذ أن الدخول إلى ذلك الكون مرتبط بأشعة ضوئية تتوالد وتتلاشى تلقائيا وهكذا نفهم لماذا اصطدم بلانك عند محاولته تصور قوانين الاشعاع بذلك الثابت الفاعل دائما في الطبيعة والذي يرجع إليه طابع التقطع في الكون المجهري .

لقد اعتبر الكون لحدّ ذلك الزمن متواصلا فإذا بذلك الثابت يحوله إلى كون متقطع وانطلاقا من ذلك رميت الافتراضات الأساسية في الفيزياء الكلاسيكية جانبا لأنها تحدّ من امكانات القيس.فالتفكير في أن بإمكاننا مبدئيا الحدّ بصفة متواصلة من الأفعال المرتبطة بقيس النظام المعني يصبح تفكيرا مخطئا فالثابت h يضع حدّا أدنى للصغر . وأقل ما يحدث أثناء القيام بقيس في نظام ما هو التسبب في حدوث فعل أولي فيه يغير من حالته وذلك التغيير خارج عن رقابتنا بحيث تبقى الحالة التي يتقمصها النظام أثناء القيس غير محددة داخل حدود يرسمها الثابت.وعلاقات التشكك التي وضعها هيزنبارغ ترتبط فعلا بذلك الغموض فهي تؤكد أن قيس حجم q ما في النظام مرتبط دائما بحجم آخر فيه p فإذا كانت قيمة p قد ضبطت قبل أن تقاس فيه q فإن تغييرا يطرأ عليها من جراء القيام بقيس q وهو تغيير نجهل مداه **داخل مجال Δp. فـ Δ p إذن مرتبط بالتشكك Δq الذي يرافق قيمة q فإذا أعطانا القيس قيمة q دون أدنى غموض فإن الغموض بشأن Δq يصبح لا متناهيا فلن نستطيع معرفة قيمة p وفي هذه الحالة ينتج** عن العملية الأولية التي تسبب فيها القيس أن p تمكث غير محددة بتاتا . فإذا أردنا أن نجتنب تزايد Δ p تزايدا لا متناهيا وجب علينا التخلي عن

الجري وراء اليقين ،بخصوص قيسنا لـq والتمسك ـــ في شأن دقة القيس ـــ بالقول بأن قيمة q تبقى غير محدّدة في المجال Δq فتكون عندئذ لـΔp قيمة محدودة مرتبطة بـΔq حسب المعادلة $\Delta p.\Delta q = h$ وتلك هي معادلة هيزنبارغ المتعلقة بالتشكك والصالحة لكل ثنائي من الأحجام المترافقة q وp .

ليكن هدفنا تحديد موضع الالكترون أي تحديد الاحداثيات xyz وتحديد موضع الشيء يعني أننا نضيء ذلك الشيء على أن الاضاءة نفسها تشكل تدخلا لا نستطيع تقدير آثاره إذ أن أقل طاقة يمكن أن تستعمل في ذلك الغرض تقدر بـ hv حيث v هي ذبذبة الضوء المستعمل . فما هو جوهر الالكترون الذي تضيئه كمية ضوئية hv ؟ لقد سبق أن رأينا أثناء عرضنا هذا أن الشعاع الضوئي المتفاعل مع القسيمة يتصرف تصرف الجسيمة المتحركة . لذلك كان من الواجب اعتبار الالكترون المضاء كمتصادم بينه وبين القسيمة الضوئية المرتدة عنه إثر ذلك التصادم والصدمة تعمل عمل القوة فتغير سرعة الالكترون ومن هنا كان الترافق بين الموضع والسرعة q وp فـ q تعني دائما سرعة الالكترون (أو اندفاعه أي كمية حركته أي كتلته مضروبة في السرعة) فالمسألة في حدّ ذاتها لا تكون لحدّ الآن غموضا بخصوص كمية الحركة أو الاندفاع إذ أننا نستطيع فعلا معرفة الاندفاع الذي يحصل عليه الالكترون من كمية الضوء.فعملية القيس يبقى التحكم فيها ممكنا بما أن القياسات قد بينت لنا قيم مركبات الاندفاع بصفة مضبوطة غير أننا في الواقع نضيع القدرة على التحكم نظرا لما تمتاز به الاثار التي تحدثها كمية الضوء من عدم قبولها للتحليل ومعنى ذلك أن الغموض ينتاب معرفة p بعد تحديد قيمة q بحيث تبقى p غامضة غموضا يرتبط ارتباط داخليا بـ p .

فليكن واضحا لدينا أن أي قيس صحيح مستقبلا لـ p لن يزيح الغموض إلا على حساب تزايد الغموض بشأن q إذ أننا حالما نبادر بقيس p ندخل اضطرابا على q فإذا تممنا قيس p بقيت قيمة q غامضة في حدود المجال Δq .

معنى علاقات التشكك :

حسب تلك المعادلات يستحيل إذن أن نقيس في الآن نفسه وبصفة صحيحة قيمتي مقيسين مترافقين p وq في حين نستطيع قيس كل منهما على حدة ولا نستطيع البتة معرفة قيمتيهما الدقيقتين في وقت واحد ولا تعود تلك الاستحالة إلى نقص عرضي في الميكانيكا الحديثة يمكن التغلب عليه في المستقبل ولكن ذلك راجع إلى حدّ في امكانات القيس لدينا ناتج عن قانون طبيعي وإذا كانت الميكانيكا الكمية على حق فإن ذلك الحدّ لا يمكن ازاحته بواسطة التقدم التقني مهما كان كبيرا . ثم إن تلك الاستحالة آخر الأمر نابعة من كون العملية الأولية نفسها غير قابلة للتحليل .

فكأن ثابت « بلانك » يعني أنه لا تمكن معالجة مقيسين مترافقين إلا معالجة محدودة الدقة تحدّها حواجز لا يمكن تجاوزها . إلا أن هذه الفكرة لا تدخل بنا حتى هذه المرحلة إلى صلب الموضوع . لا لأن لفظة « دقة » تعني وجوبا تفسيرا خاطئا . بل إن الحديث عن قيس مقيس ما لا يكون ذا معنى إلا إذا كانت للأبعاد قيمة محددة تحديدا كاملا لا يتأثر بعملية القيس نفسها . ووجهة النظر هذه تدخل بدورها فكرة أن الشيء الذي ترتبط به المقيسات ــ وإن لم يكن تحت المراقبة ــ هو محدد تحديدا وافيا في كل خصائصه أو ــ وهذا يعني نفس الأمر ــ أن « الشيء » يبدو وكأننا أضفينا

عليه محتوى ماديا ما . على أننا سنرى أن القسيمات الأولية لا يمكن تصورها كجسيمات لها طابع المادة (مع العلم أن علاقات التشكك تهم القسيمات الأولية) لذلك كان لا بدّ لنا من تصورها كأشكال بحتة أي كعلاقات بين مقيسات يمكن قيسها. فإذا ما أسمينا نظاما مجموع العلاقات المتصلة بالقسيمة فإننا نستطيع القول بأن الالكترون مثلا ـــ حسب الميكانيكا الكمية ـــ ليس إلا نظاما . هو بدون شك مماثل لنظام الحقل الموجي وهكذا ترى هنا المعنى الحقيقي لثنائية المادة ـــ الموجة التي أدخلها دي براي وشرودنغار .

وإذا كان الأمر كذلك فلا فائدة من إعطاء الالكترون ـــ وهو غير مراقب ـــ موضعا وسرعة في زمن ما إذ أن الالكترون في تلك الحالة ليس جسيمة بل هو حقل موجي له امكانات معينة . فإذا ما حولنا تلك الامكانات ـــ ونحن بصدد القيس ـــ من عالم الافتراض إلى عالم الحقيقة فإننا نحصل على موضع وسرعة نعتبرهما موضع الالكترون وسرعته . ومعنى ذلك أن الالكترون كعامل غير مرتبط بعملية المراقبة ، لا يصنع لا الموضع ولا السرعة بل إنهما **نتيجة تلقائية للملاحظة** وإلى ذلك يقصد هيزنبارغ بقوله : « إن هدف البحث لم يعد يعني معرفة الذرة وتحركاتها ، في حد ذاتها أي بدون أي ارتباط مع الاشكالية التجريبية بل إننا نجد أنفسنا منذ البداية أمام المواجهة القائمة بين الانسان والطبيعة ومن أجل ذلك كان التقسيم الشائع بين الفعل والفاعل ، بين العالم الداخلي والعالم الخارجي ، مصدر كثير من الصعوبات » .

لكن لنعد إلى علاقات التشكك ولنعترف أن ما سبق ذكره في شأنها لا يعني البتة أن تلك العلاقات لا تؤدي إلا إلى معرفة يعتريها شيء من الغموض وليس مردّ ذلك إلى أن الطبيعة تمنعنا بقانون ما من معرفة موضع القسيمة وسرعتها معرفة

صحيحة أثناء التجارب. فمجالا التشكك Δp وΔq المعنيان في المعادلة $\Delta p.\Delta q = h$ لا يمثلان انحرافات ممكنة في تحديث المقيسين p وq بالنسبة لقيمتيهما «الواقعيتين» بل إن كل ما تعنيه هو أن البعدين p وq ـــ عند القيام بقيسهما قيسا متواقتا ـــ يبقيان **دون تحديد** داخل المجالين p وq ومعنى ذلك أن الرمز يجب أن يثير في أذهاننا غموضا في التحديد لا خطأ فيجب من خلال ذلك أن نفهم أن قيس القسيمة لا يسمح لنا بالتحصل على قيمة لا يعترضها أي شك بالنسبة للبعدين p وq بل إن قيمة كل منهما تحمل شيئا من الابهام وعدم التحديد . فمفهوم « غير المحدد » كما يفهم ههنا لم يكن موجودا في الفيزياء الكلاسيكية إذ أن المقيس ـــ حسب تلك الفيزياء ـــ إذا ما كان محددا بصفة مبهمة فذلك لأن معرفتنا به غير كاملة ، لا لأنه غير محدد أصلا . إلا أن الأمر هنا يتعلق الآن بنقائص في التحديد يمكن ارجاعها إلى ملاحظة غير صحيحة نقوم بها بل إن الأمر يتعلق بنوع من المقادير لا يمكن ضبط قيمتها حسابيا ضبط اليقين ، بعدد كامل . وبذلك نصل حقا إلى صلب علاقات التشكك . ففي الميكانيكا النيوتنية يمكن تحديد المقادير الفيزيائية كالموقع والدفع تحديدا لا ريب فيه وهذا ما لا نستطيعه في الميكانيكا الكمية . ومعنى ذلك **أن بعض** المفاهيم الميكانيكية التي تثبتها علاقات بالأجسام المرئية تفقد معانيها الصحيحة حالما نطبقها في مستوى الذرة بحيث تكف عن تمثيل مقادير يمكن ضبط قيمتها **ضبطا لا يحتمل الشك** .

وهكذا يتضح الآن جوهر الثابت h أكثر من ذي قبل . فنستطيع القول بأن ذلك الثابت يمكننا من تجاوز عدم التحديد المتعلق ببعض المفاهيم الميكانيكية عند الانتقال من الميدان المرئي إلى الميدان المجهري . وعندئذ

تصبح مفاهيم الموضع والسرعة غير محددة داخل منطقة معينة أو بعبارة أخرى إذا طبقنا على الميدان المجهري مفاهيم تلائم الميدان المرئي ملاءمة كاملة فإنها تصبح غير ملائمة له . لذلك وجب وضع طريقة تبسط بصفة موفقة كيف يحسن فهم تلك المفاهيم واستعمالها. إن تلك الطريقة تمر عبر الثابت h . فهو ـــ اجمالا ـــ **قيس للفرق الجوهري بين المرئي والمجهري** . وهو فعلا يحدّد المعنى البديل الذي يجب أن يصلح في تفسير نتائج بعض عمليات القيس التي تهدف إلى تحديد قيمتي p وq عندما تقع تلك العمليات في الكون المجهري بدل الكون المرئي .

والفكرة القائلة بوجود مقيسات حالة ، لا يمكن تحديدها بواسطة عدد معين تعني **القطيعة الفاصلة مع الملموس** . فإذا نظرنا إلى احداثية الموقع x لقسيمة ما ظهرت لنا إذن حسب الميكانيكا الكمية حالات لتلك القسيمة يكون فيها x غير محدد وبالتالي يكون موقع القسيمة غير محدد هو أيضا ولقد كان من الصعب على رواد الفيزياء الجديدة أنفسهم التوصل إلى تلك النتائج والتخلي إذن عن الفكرة السائدة بأن للقسيمة، في كل لحظة محددة موقعا محددا . لأن ذلك يعني أيضا التخلي عن كل أمل في الوصول يوما ما إلى تفسير الميكانيكا الكمية في اتجاه الحتمية الضيقة أي إلى تفسير يفترض فيه أن حالة نظام ما يمكن تحديدها تحديدا صحيحا . فإذا كان مثل ذلك التحديد غير وارد فإن إمكان الجزم بمعرفة ما ستؤول إليه حالة النظام انطلاقا من حالته الراهنة تصبح هي أيضا لاغية .

ونتيجة لذلك اضطرت الميكانيكا الكمية إلى تحديد مفهوم « الحالة » بطريقة أخرى لأن الفيزياء تستطيع التخلي عن فكرة « الشيء الملموس » ولكنها لا تستطيع التخلي عن المبدأ المتعلق بمعرفة المستقبل انطلاقا من الحاضر . وإذا بدا من المستحيل التمسك بحتمية دقيقة بمفهوم الفيزياء

الكلاسيكية فإن هناك رغم كل ذلك امكان التكهن بأن هذه الظاهرة أو تلك ستحدث حسب هذا الاحتمال أو ذلك . وفعلا ، سبق أن رأينا أن الميكانيكا الكمية قد انتهت إلى الجزم بوجود حتمية احصائية لا يمكن الوضع الراهن لأي نظام مغلق من الاعتماد على غيرها . فليس لنا إلا القول بأن النظام سيمر في تطوره من هذه الحالة أو تلك حسب هذا الاحتمال أو ذلك . وهكذا نعود من جديد إلى آراء سبق أن رفعناها وهي آراء ينتج عنها أن قوانين الميكانيكا الكمية لا تسمح إلا بالتفسير الاحصائي .

الفصل الخامس

افراغ الكون الفيزيائي من محتواه المادي

الذرة ومفهوم المادة :

لقد كان ديمقريط يتصور الذرة وكان يقصد بها القسيمات الأولية كجسم صغير جدا لا يوجد خارجه إلا الفضاء الفارغ . فالذرة كانت إذن في نظر ديمقريط الشيء **الملموس القائم بذاته** . ولقد رفعت النزعة المادية الاعتقاد الراسخ بأن للقسيمات الأولية وجودها الذاتي الخارج عن كل ملاحظة ، إلى منزلة الركن العقائدي فتبنت الفيزياء في أول الأمر تصورا كانت له فائدة واضحة . إلا أنه أصبح من المؤكد في ما بعد أن واقعا آخر موجود ــ ونعني به الحقول ــ يربط الصلة بين القسيمات وكانت الفيزياء قبل ذلك الاكتشاف وبعده تعتقد أن للقسيمات وجودا ذاتيا في الزمان والمكان وأنها تعرض للملاحظة في مظاهر هي مظاهرها الخاصة بها .

إلا أن الميكانيكا الكمية قد جلبت معها تغييرا عميقا إذ أن مناسبتين قد جدّتا فأجبرتا الفيزياء على التخلي عن واقعيتها البدائية المتمثلة في تصور الذرة كحبيبة في منتهى الدقة . وعلى تعويض تلك الواقعة بتصور آخر أكثر تطورا فالمناسبة الأولى كانت التفطن التدريجي عن طريق التجربة المتطورة إلى طبيعة الضوء المزدوجة فأصبح من المستحيل النظر إلى القسيمات كشيء له وجوده الخاص القار . فهي تجيب عن التجارب التي تجرى عليها بلا أو نعم فتظهر مرة سلوك الجسيمات ومرة أخرى سلوك الأمواج . وها هنا تدخل المناسبة الثانية وهي أن الخصائص التي كانت تبدو خاصة بالقسيمات

لا تصدر عن القسيمات نفسها بل هي من عمل ملاحظتنا لتلك القسيمات فالملاحظة تعني دائما عملية فيزيائية وما نلاحظه إذن ليس القسيمة في حدّ ذاتها بل هو لا يعدو أن يكون مفعول العملية فينا أو في آلات القيس التي نستعملها .

فبصورة أخرى قد لا يكون من المستحيل الادعاء بأن الحالات التي نلاحظها هي من صنعنا نحن وهذا ما اضطر النظرية إلى اتباع وجهة نظر غريبة تماما عن الفيزياء الكلاسيكية إذ أن هذه فعلا كانت تنقص من شأن ما تحدثه عملية الملاحظة في الجسم المرئي الملاحظ . لكن للقسيمة الأولية حساسية أخرى وهي تتأثر بالقياسات التي نجريها عليها بدرجة لا يمكن اهمالها واعتبارها ضئيلة .

وهكذا تفقد القَسيمات إذن عند ملاحظتنا لها صفتها كقسيمات لها ذاتيتها الخاصة وهذا ما يؤدي بنا إلى الامتناع عن معالجتها بواسطة أحد المفاهيم العظمى في الفلسفة الكلاسيكية ونعني به مفهوم « الجوهر » ومن هنا أيضا تخلت الميكانيكا الكمية عن مفهوم كان في رأي « كنت » شرطا أساسيا لكل معرفة ولم تخاطر الفيزياء الكلاسيكية بإعادة النظر فيه . فالجوهر هو ما يجعل من الشيء « نفس الشيء » على الدوام . وهو الذي يثبت إذن « هويته » وكان « كنت » يعرف الجوهر بأنه ما يبقى قائما خلال التغيرات الطارئة على الظواهر ، وما لا تزداد كميته ولا تنخفض مع الزمن . وما كان « كنت » ليتحدث عن الكمية لو لم يكن الجوهر قابلا للتعبير فلكل جسم إذن بما في ذلك القسيمة ــ قيمة ثابتة يمكن قيسها وجوبا . إنها كتلته أثناء السكون إلا أن تلك الكتلة لا تضمن تحول القسيمة إلى اشعاع . وإذا ما حفظت الكتلة كطاقة فإن ذلك لا يمنعها من الذوبان وسط الفضاء الكلي ومن فقدان صفتها كشيء يمكن التعرف عليه بل إنها لا تستطيع اتخاذ شكل

المادة الجوهر إذ أنه عند تحول الاشعاع إلى قسيمة مادية من جديد لا يمكن أن نتعرف على تلك القسيمة على أنها مطابقة تمام المطابقة لتلك التي تبخرت قبل ذلك في شكل اشعاع فليس للقسيمة الأولية إذن ما يمكن أن يتخذ كجوهر بالمفهوم « الكنتي » للجوهر .

مبدأ باولي :

لكن فكرة الجوهر بخصوص بعض القسيمات الأولية سيدحضها دحضا تاما نوع الاحصاء المتعلق بتلك القسيمات ويذهب بنا التفكير هنا خاصة إلى المبدأ الذي يحمل اسم « باولي » والذي ينطبق على القسيمات التي يكون أسبينها (هبوطها اللولبي) [1] عددا نصف كامل [2] كالالكترونات والمبدأ خاص بالنظم التي لا تتكون إلا من قسيمات ذلك الصنف . فغشاء الالكترونات المحيطة بالذرة يمكن أن يصلح كمثال والمبدأ في هذه الحال يفيد أن قسيمتين (الكترونين) في ذلك النظام لا يمكن أن يقوما بحركة تقدّر بنفس العدد . وعلى ذلك المبدأ يقوم تفسير النظام الدوري للعناصر . وحسب ذلك المبدأ أيضا لا يمكن أن يدور الكترونان أو أكثر حول النواة في نفس المسار في نفس الذرة . بحيث أن المسار الواحد لا يتسع إلا لالكترون واحد على أقصى تقدير . فينتج عن ذلك — عند انتقالنا من عنصر إلى العنصر الذي يليه — أن الالكترون الجديد في العنصر الأخير يجب أن يكون في مسار بعيد خارج مسار آخر الكترون فكأن غشاء الذرة يزداد حجمه عضويا وهكذا تعمر الالكترونات ما يسمى بطبقات الذرة في سلسلة بعض مجموعات المسارات فيترتب عن ذلك هيكلية ترتبط بأعداد النظام الدوري للعناصر .

(1) إن العزم الحركي الخاص بالالكترون كبقية القسيمات ناتج عن دورانه حول نفسه .
(2) العدد نصف الكامل هو العدد الاحادي المقسوم على اثنين .

إن هذا المثال يوضح إلى أي مدى استكشافي يصل مبدأ « باولي » الذي يكون اليوم أساسا لا مفر منه في فيزياء الذرة فكل تطبيقاته تؤكد ذلك دون أي استثناء إلى يومنا هذا ولذلك لا يمكن الطعن في صحته. ثم إن المبدأ بالاضافة إلى ذلك يعرض علينا قانونا ملحوظا إذ أن كل شيء يحدث وكأن أحدا قد علم القسيمات ـــ لكن بأية طريقة غريبة ـــ أن تعمل كل منها على أن يستقيم عمل الأخريات . وهي فعلا مجبرة على معرفة الحالات الممنوعة فكيف تعرف القسيمة كل ذلك ؟ يبدو واضحا أنها تعرف ذلك نظرا لتأثير القسيمات الأخرى عليها فتمنعها من القيام بحركة قامت بها بعدُ واحدة أخرى غيرها . لكن كيف يحدث ذلك التأثير ؟ لنتصور غازا من الالكترونات يتمتع بمتسع من الفضاء والمبدأ قائم مهما كان اتساع الفضاء الذي يحتله الهيكل . لنفرض أن ذلك الغاز يحتل حجم قاعة ففي هذه الحال يحرم على قسيمة توجد في زاوية من زوايا القاعة القيام بحركة معينة لأن قسيمة أخرى توجد في الزاوية المقابلة تقوم بحركة مطابقة . ومعنى ذل أن بإمكان الكترونين التأثر ببعضهما عن بعد مهما كانت المسافة الفاصلة بينهما .

لكن كيف يمكن كل ذلك ؟ فالفيزياء لا تعرف قوى يمكن أن تؤثر على الالكترونين وهما بعيدان عن بعضهما بعدا كبيرا . بل هي لا تعرف قوى على غاية من الدقة يمكن أن تحدث ما يستوجبه مبدأ باولي التجريبي . فالمبدأ يضطرنا إذن إلى أن نستنتج أن الالكترونات ليست مادة بمفهومنا العادي للمادة بل يجب أن يكون لها جوهر غريب. والمبدأ يقودنا أيضا إلى الانتهاء إلى أننا لن نفهم سلوك الالكترونات ما دام ذلك الجوهر قد أفلت منا . أيكون ذلك الجوهر هو الذي يحرم تعدد الحركات المتطابقة ؟ إننا

لنجد أنفسنا إذن أمام السؤال الآتي : ما هي القسيمة الأولية ؟ أو بدقة أكثر ما هو الالكترون ؟

في أن الالكترون هيكل بدون جوهر :

لنذكر أولا ــ قصد تعبيد الطريق أمامنا ــ أنه لا يمكن أن نضفي على القسيمات الأولية طابعا ماديا كطابع حبيبات القمح مثلا فجسمانيتها الجوهرية ــ إن جاز لنا مثل هذا التعبير ــ ليست إلا حيلة ناجحة من حيل الطبيعة لأننا منقادون إلى الوقوع في الخطأ المتمثل في نقلنا للمفاهيم الملموسة التي عودنا بها العالم المرئي إلى العالم المجهري حيث تفقد تلك المفاهيم معانيها إذ أن امكانات القيس هي التي تضفي قبل كل شيء على المفاهيم معانيها. وبما أن تلك الامكانات تختلف اختلافا تاما من الميدان المرئي إلى الميدان المجهري فإن مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية تصبح غير قابلة للتطبيق على القسيمات ذلك لأن القياسات التي تتطلبها تلك المفاهيم لا يمكن أن تكون ملائمة لها .

ولا بد لنا من الانطلاق مما نعرف عن الالكترون حتى نبحث هل أن مفهوم الجوهر قائم بالنسبة له. فالالكترون ليس بالشيء الذي نستطيع مراقبته مراقبة مباشرة إنه من صنع النظرية فهناك ظواهر نقول عنها قصد تفسيرها أنها من صنع أجسام صغيرة جدا لا تدرك ولها كتلة وشحنة كهربائية معينتان واعتمادا على ذلك الافتراض قمنا بتصميم تجارب مختلفة تمكننا من تحديد كتلة ذلك الجسم وشحنته فأعطتنا عددين محددين يتطابقان والمقيسين . ثم بماذا سمحت التجارب أيضا في شأن الالكترون ؟ لقد تمكنا بواسطة عمليات ملائمة من وضع القسيمة في حالة تفاعل مع المادة فسودت الصفيحة الفوتوغرافية وأحدثت قطيرة في « غرفة ولسن » ثم إن ذلك النوع

من البحوث مكننا في بعض الأحيان من استقصاء وضع الالكترون وكما سبق أن رأينا سنبين ذلك الموضع بواسطة تابع Ψ باحداثياته xyz فيحدد، أثناء تركيز الموقع ، احتمال مصادفة القسيمة في المكان x yz المحدد مسبقا . والتابع Ψ يخضع لمعادلة تفاضلية معينة هي معادلة « ديراك » التي تستعمل كتلة الالكترون وشحنته بحيث يمكن الجزء بأن كل ما بوسعنا اعلانه — اعتمادا على القياسات بالنسبة للالكترون هو ملخص في التابع (x,y,z) Ψ الخاضع لمعادلة تفاضلية معينة .

وسنسمي بالهيكل المميز لشيء ما ، مجموع الخصائص المرتبطة بذلك الشيء وهي خصائص لا تستطيع وصفها وصفا كاملا إلا المفاهيم الرياضية وهكذا يصبح لكل الكترون في حالة حركة معينة نظام هيكلي يمثله تابع (x,y,z) Ψ معين ويمكننا أن نتساءل عندئذ هل أن ذلك الهيكل هو كل ما يملك الالكترون ؟ ألا يكون الالكترون متكونا من شيء آخر ؟ أي من حامل يستعصي على الملاحظة ويتلاءم ملاءمة الخاتم للاصبع — مع ما يعبر عنه ذلك التابع Ψ ؟ فإذا كان الجواب نعم فإن الالكترون يصبح شيئا جوهريا وجوهره يتكون من خصائص ذلك الحامل الذي لا يمكن أن يلاحظ ، أما إذا كان الجواب بالنفي فإن الالكترون يصبح بلا جوهر .

وأهمية مبدأ باولي تكمن في أنه يمكننا من معرفة أي الاحتمالين محقق فإذا كانت الالكترونات أجساما صغيرة جدا ولها جوهر فإن الهياكل المتكونة من الالكترونات كغشاء الذرة مثلا يمكن أن تحتوي على عدد معين منها تكون في نفس الحالة (أي يمكن وصفها بنفس التابع (xyz) Ψ أما إذا كانت القسيمة بدون جوهر فإن الكترونين اثنين أو أكثر ينتميان إلى نفس الهيكل لا يمكن أن تكون لهما نفس الحالة نظرا لأننا إذا استطعنا احصاءهما كاثنين أو أكثر فذلك لأنهما يحملان شيئا يميزهما عن بعضهما إلا أن

الالكترونات إذا كانت بدون جوهر فقدت تلك الخاصية فيصبح من المستحيل العثور على نفس الحالة وقد تقمصها عدد كبير من الالكترونات فلا يمكن أن يكون حينئذ لنفس الهيكل أكثر من الكترون واحد في حالة معنية واحدة تماما كما أن الانسان لا يمكن أن يكون في نفس الوقت مريضا وسليما .

وهكذا لا تبقى إلا طريقة واحدة لتفسير مبدأ باولي التحريمي هي أن نعتبر الالكترونات بدون جوهر أي أن الالكترون لا يتكون إلا من صفاته ولا شيء غير صفاته فلن يملك نواة قارة تحمي هويته ويمكن أن نلصق صفاته بها فترتبط الصفات بالنواة ارتباط الثياب بالخزانة التي علقت بها . لهذا السبب لن نستطيع الجزم أبدا بأن القسيمة التي نلاقيها هي **نفسها** القسيمة التي سبق أن لقيناها سلفا .

إن نفي المادة عن القسيمة الأولية يشكل صفة مميزة للفيزياء في الوقت الراهن . وبذلك تنتهي الفيزياء إلى نزع المادة الميتة من تصورها للعالم وإلى تعويضها بمجموعة من الاشكال. ولقد خطت نظرية النسبية أولى خطواتها في ذلك الاتجاه عندما قالت بأن الكتلة مكافئة للطاقة إلا أن ذلك لم يعد ــ لعدة وجوه ــ نفيا نهائيا لفكرة الجوهر . بما أن تحول الكتلة إلى طاقة لا ينفي أن تتطلب الطاقة الكامنة في الجسم وجود جوهر حامل لها . إلا أنه كان من الصعب جدا الملاءمة بين ظهور الكترونين أو غيابهما وبين افتراض طبيعة مادية للالكترون . وإذا كانت القسيمة تتحول إلى طاقة مشعة فما الذي يبقى منها حتى يسمح لنا بالحديث عن الجوهر القار ؟ إن وجود مثل ذلك الجوهر يدحضه أيضا وجوب افتراض أن الالكترون يصدر نواة مشعة لم تكن موجودة من قبل كقسيمة محددة ولكنها لا تتكون إلا في

عملية الاصدار نفسها . كما أن الفوتون (أو الضُّوَيْء) الذي تشعه الذرة لا يأتي إلى الوجود إلا بالاشعاع نفسه .

إن تجريد القسيمة من جوهرها سيؤثر بدون شك وبصورة حاسمة في ما ستؤول إليه رؤيتنا لعالم علوم الطبيعة.ومن الواضح فعلا أن فيزياء لا تعترف بالمادة بل بالشكل فقط هي فيزياء لا تتلاءم والتفكير المادي الذي ساد كل التصورات المتعلقة بالطبيعة طيلة قرون.فمن الآن نستطيع الجزم بأن طريقة التفكير المادي لا تمكننا من تجاوز بعض الصعوبات التي يكتنفها تصورنا للعالم حسب لغة العلوم الطبيعية .

الفصل السادس
حدود المعرفة في الفيزياء

حدود القدرة على الاختراع :

لقد أصبحت الفيزياء ــ نتيجة لهول اكتشافاتها ــ مصدر تخوف للانسانية فهي التي حسمت نهاية الحرب العالمية الثانية بظهور قنابل تكفي الواحدة منها لاعدام مدينة صغيرة ولكن ذلك لم يكن إلا البداية فقد جربت ــ سنوات بعد تلك الحرب ــ القنابل الهدروجينية التي تكفي الواحدة منها لنسف مدينة كاملة بأسرها وها أن تلك القنبلة قد تجاوزتها الأحداث إذ أن آخر ما جدّ في هذا الميدان قنبلة الكوبالت القادرة ــ بانتشار اشعاعاتها ــ على قتل كل من ينجو من انفجارها . إن المستقبل ليبدو مخيفا . فهل من نهاية لاكتشافات الفيزياء المشؤومة ؟ وهل أن قدرة الاختراع في الفيزياء لا تحدها حدود ؟

قبل الاجابة على تلك الأسئلة يجدر بنا تدقيق معانيها فنحن بحديثنا عن حدود الفيزياء يمكن أن نعني إما حدود قدرتها في المعرفة أو حدود قدرتها في الاختراع أي أن المعرفة والاختراع كلمتان غير مترادفتين . فالمعرفة البحتة لا علاقة لها بالتطبيقات التقنية . وهي من هذه الزاوية محايدة تمام الحياد فلا هي بالحسنة ولا هي بالسيئة في حدّ ذاتها بل إن غايتها الوحيدة هي ارضاء فهمنا العلمي وحبّ الاطلاع هو مصدر كل معرفة . فحبّ الغوص بعيدا في دراسة ميادين لا تزال مجهولة هو دائما الحافز الذي يلح على العالم في القيام بتجارب صعبة ويدفعه لمجابهة حسابات رياضية طويلة أو لتحمل الأتعاب الناجمة عن الاستكشاف.والعالم يرى أنه قد قام بعمله وأتمه عندما

يكلل النجاح مساعيه ولا يهتم بما قد تنتجه المعارف التي يتوصل إليها من تطبيقات فذلك من شأن المخترع .

إن كل اختراع يرتكز على معرفة ويتمثل في استعمالها لغايات معينة والاستعمال هو الذي يزيل عن المعرفة طابعها الحيادي الذي تتميز به في البداية وهو الذي يوجهها نحو الخير أو نحو الشر حسب ما يصلح له الاختراع إن تعميرا أو تدميرا . فلنأخذ مثل القنبلة الذرية فهي تمثل اختراعا كانت نقطة الانطلاق فيه معرفة علمية معينة ، معرفة ناتجة عن اكتشاف « هاهن » أن ذرة البورانيوم بعد قنبلتها بالنترونات ، تنشطر إلى نصفين ينفصل أحدهما عن الآخر فترافق انفصالهما طاقة هائلة فإذا أصدرت كل ذرة منشطرة نترونين وإذا اصطدمت النترونات بذرات يورانيوم أخرى فإن عملية الانشطار التهديمية تنتقل إلى تلك الذرات وهكذا يصبح التفاعل المتسلسل قائما. تلك هي الحقائق التي أثبتها «هاهن» وليس فيها — في حدّ ذاتها — ما يخيف.إلا أن المخترعين دخلوا الحلبة فتساءلوا عما يمكن أن يفيده ذلك الاكتشاف وانتبهوا إلى استعماله في صنع جسم منفجر تفوق قدرته مائة ألف مرة قدرة كل المواد المتفجرة المعروفة في ذلك الوقت وهكذا ظهرت القنبلة الذرية وبعد ذلك فقط بدأ المخترعون يهتمون أيضا بالبحث في امكان استعمال القوى الخفية داخل نواة الذرة في اغراض سلمية إلا أن تلك التطبيقات السلمية لم تسترع ولع الانسانية إلا بمقدار أقل من انشغالها بكسب سلاح في الذرة يمكن أن يتفوق على كل الأسلحة الأخرى . لذلك لم ينفك المخترعون يكتشفون امكانات جديدة للزيادة في قدرة القنبلة على التدمير حتى أصبح من المستحسن أن نتساءل هل من حدود لتطور الآلات الذرية أم هل يمكن انتظار تطبيقات أكثر هولا .

لا تكاد تكون لذلك التطور الضار حدود لأن الأوضاع قائمة على أن كل اختراع قابل للتحسين إذ أن معارف أكثر عمقا وتقدما ستكتسب وتضاف إلى المعارف السابقة التي كانت نقطة الانطلاق ثم إن تلك المعارف الجديدة المكتسبة هي أيضا يمكن استعمالها في نفس الاتجاه الأول . فتتضافر تلك المعارف كلها حتى تستعمل ركيزة في استنباط طرائق عمل أكثر عقلانية مما سبقتها باعتبار عوامل عديدة جديدة . فلماذا إذن فاقت القنبلة الهدروجينية في آثارها القنبلة الذرية ؟ ذلك لأن اكتشافين بل مفهومين أساسيين قد استغلاّ فيها معا . أحدهما مبدأ قنبلة اليورانيوم والثاني تحول نواة الهيدروجان إلى نواة هيليوم وذلك باندماجها في درجة حرارة هائلة الارتفاع الأمر الذي يتسبب في توليد طاقة في حجم الطاقة الناجمة عن الانشطار . والقنبلة الهيدروجينية تعمل على مرحلتين . ففي المرحلة الأولى تنشطر نوى اليورانيوم فتولد حرارة داخل القنبلة نفسها تجعل ما تحتويه من هيدروجان يتحول إلى هيليوم وبذلك تكون القنبلة الهيدروجينية قد قرنت بين مبدئين فأديا إلى قدرة عظمى. ولكن ليس هناك مبرر للوقوف عند هذا الحدّ فسيقوم البحاثون بتجارب أكثر عمقا تستهدف سلوك النوى الذرية قصد استغلالها في الزيادة في مفعول القنبلة [1] لذلك تبدو نهاية الاختراعات بعيدة جدّا في هذا الميدان ولن تظهر بوادرها حتى في الأفق .

حدود المقدرة المعرفية :

إلا أننا نتساءل ـــ وهنا يكمن المشكل الذي يهمنا بالضبط ـــ هل يستحيل أن تعرف الاكتشافات حدّا ؟ ألا يمكن أن نفترض أن قدرات

---

(1) وخير دليل على ذلك ما أصبح يتحدث عنه بخصوص القنبلة النترونية بالولايات المتحدة الأمريكية (المترجم د . علي عارف بلحاج) .

الفيزيائي في ميدان المعارف ستعرف حدّا لن يستطيع تجاوزه في يوم من الأيام ؟ وما يختفي خلف تلك الحدود قد يمكث في تلك الحالة لغزا دائما إما لأن الطبيعة تحتفظ به كسرّ أو لأن عقولنا لا تستطيع تصوره . إن الافتراضين كليهما مقبولان فلم لا تكون للطبيعة أسرار تمتنع عن البوح بها ؟ ألا يحتمل مثلا أن يكون للطبيعة ــ بالاضافة إلى الأبعاد الثلاثة التي نعرفها ونفهمها ــ بعد رابع قد تحدث فيه أشياء نجهلها تمام الجهل؟ ثم إن أذهاننا ــ وهي المحدودة دون ريب ــ ألا تكون قاصرة عن استيعاب جزء وافر من الظواهر الطبيعية ؟ عندئذ سيكون للمعرفة في الفيزياء حدود لن يمكنها أي تقدم مهما كان عظيما من تجاوزها .

وليكن واضحا أننا لا نتحدث ههنا عن المعرفة بصفة عامة بل عن حدود المعرفة في الفيزياء فقط . وليس من التافه أن نؤكد على ذلك بما أن الفيزياء ليست سوى جزء ضئيل من مجموع المعارف . أليست الفيزياء علما يقتصر على البحث في الظواهر الخاصة بالطبيعة الميتة ؟ إنها لا تهم في شيء ما نحس به خارج ذلك النطاق كظواهر الحياة وظواهر الحياة النفسية قبل كل شيء تلك التي تدخل في اختصاصات علمية أخرى فهناك إذن أشياء كثيرة نجد الفيزيائي عرضة لأن يجهلها لأن وسائله لا تمكنه من معرفتها .

جوهر المعرفة في الفيزياء :

إن الفيزياء تربط اكتساب المعرفة بالتجربة وهي لا تهتم إلا بالتجارب التي تسمح بأخذ قياسات إذ أن هدفها هو فعلا ضبط قوانين طبيعية والقانون الطبيعي يعبر دائما عن علاقات بين مقادير يمكن قيسها . فقانون حفظ الطاقة مثلا يقول إن مقدارا محددا ومعينا بصفة صحيحة هو الطاقة يحتفظ دائما بقيمته نفسها أثناء التغيرات الطارئة على كل نظام مغلق (نظام لم يتسلط عليه

أي تأثير خارجي) ومن البديهي أن تفترض هذه المقولة ــ بغية السماح بالقيام ببراهين مضادة ــ أن الطاقة يمكن أن تقاس وأن هناك إذن تراتيب تمكننا من تحديد مقدارها وتراتيب ذلك التحديد يجب أن تنبع حينئذ من مفهوم الطاقة .

فالقوانين الطبيعية تتعلق إذن بمقادير قابلة لأن تقاس وتبين كيف تتصرف تلك المقادير عند دخولها في ظاهرة ما . فنحن نقول إننا قد فهمنا ظاهرة نلاحظها ــ عندما نستطيع البرهنة على أنها تسير وفق قانون محدد معروف ومتى توصلنا إلى ذلك اعتبرنا الظاهرة قد فسرت.فكل تفسير في الفيزياء يعني جعل الظاهرة ترجمان قانون طبيعي ثم بالاضافة إلى ذلك يجب أن نأخذ القانون على أنه معطى لا يمكن الرجوع فيه وكل قانون طبيعي من المفروض ألا يكون له أساس إلا إذا كان بالامكان ارجاعه إلى قانون آخر أعم ولذلك استوعب قانون نيوتن بخصوص الجاذبية قوانين « كبلار » الخاصة بالكواكب فكأن نيوتن قد فسر قوانين « كبلار » إلا أن عملية الاختصار تلك تؤدي آخر الأمر دائما إلى قانون يتطلب الاعتراف به دون أن يكون له أساس عليه يرتكز .

وهكذا يتبين إذن أن القوانين الطبيعية مهما كان استيعابها للظواهر الملاحظة فإنها كقوانين تبقى بدون تفسير إنها قوانين لا تشكل ضرورات معقولة بل هي مشتقة من التجربة. لنأخذ كمثال قانون سقوط الأجسام إنه يعلمنا بأن الجسم الساقط من تلقاء نفسه نحو الأرض يجتاز مسافة تتزايد بالتناسب مع مربع الوقت المقضي في قطع تلك المسافة . فالفيزياء تعلمنا ذلك لا لأن الأشياء لا تستطيع أن تحدث بطريقة أخرى بل لأن ذلك هو مفاد التجربة . فلا نستطيع إذن الادعاء بأننا نفهم قانون سقوط الأجسام إذ لا وجود لمنطق يفرض على الأجسام أن تسقط بتلك الطريقة دون سواها .

إن كل قوانين الطبيعة الحقيقية ترتكز على الاستقراء أي أننا لا نستطيع البرهنة على صحتها إلا بما ثبت لحد الآن حدوثه دائما وفق تلك القوانين وبذلك نتأكد من اتصاف الطبيعة بالمحافظة فهي لا تتخلى عن عاداتها أبدا إلا أن ذلك ليس سوى احتمال حسب نظرية الاستقراء المحببة نفسها فلا شيء يضمن أن الطبيعة سوف لن تغير من عاداتها وأن ظاهرة ما بعد حدوثها ملايين المرات وفق هذا القانون سوف لن تحدث وفق قانون جديد مغاير تماما للأول . فكل القوانين الطبيعية عرضة لأن تدحض ونحن بهذا لا نريد التشكيك في صحة الفيزياء ولكننا نريد أن نبين بوضوح أن القوانين الطبيعية ليست ضرورة من ضرورات الفكر بحيث لا يمكن أن نفهمها فنقف على أسبابها ومعنى ذلك أنه يمكن الجزم بأن المعرفة في الفيزياء تجنح فقط إلى وضع القوانين الطبيعية ولا شيء غير ذلك .

حدود المعرفة :

إننا نعني مناقشة حدود المعرفة انطلاقا من الدعوى السابقة.وأول احتمال يمكن أن يطرح هكذا : إذا وجد حدّ في اكتشاف القوانين الطبيعية فلأن المراقبة التدريجية للطبيعة تعترضها ظواهر لا يحكمها أي قانون . قد نتصور ذلك إلا أننا لن نستطيع اعتبار حدّ من ذلك النوع لأن ذلك يعود بنا إلى معارضة وجود الفيزياء بصفة عامة . فالفيزياء فعلا تفترض أساسا أن كل ظاهرة طبيعية خاضعة لقوانين . فإذا ما نفينا وجود ظواهر لا تحكمها قوانين فمعنى ذلك أن بالامكان دائما وضع مثل تلك القوانين . وإذا بدا لنا أن للمعرفة حدّا رغم ذلك فلأننا في ظروف لا تسمح لنا بكمال المعرفة نظرا لأن تلك الظروف لا تخضع لبعض المتطلبات وههنا نصل إلى نقطة تختلف فيها الاراء اختلافا كبيرا .

فلقد سبق أن قلنا إن القانون الطبيعي يجب أن يمكننا من التكهن بما سيحدث وفي هذه النقطة تتفق كل الآراء إلا أن الأمر يختلف بالنسبة لوجهة نظر يتبناها اليوم معظم الفيزيائيين مفادها أن يمكننا القانون الطبيعي من التكهن بما سيحدث وهو كل ما نطالبه به . وانطلاقا من هذا التصور تكون الغاية الوحيدة من القانون تطبيقه على كل تجربة يمكن أن نتصورها من خلاله . لننظر إلى سلوك الضوء . فللضوء طبيعة مزدوجة وهو ـــ حسب التجربة ـــ يبدو مرة في شكل موجة وطورا في شكل جسيم غير أن الميكانيكا الكمية تمكنت من السيطرة على تلك الازدواجية بواسطة قانون يمكن استعماله في كل تجربة سواء أكانت الظاهرة تموجية أو جسيمية . وقد توصلت إلى ذلك لا بفضل قانون من قوانين الفيزياء الكلاسيكية قد أعيد وضعه بل بالالتجاء إلى مفاهيم جديدة تخلّي فيها عن الناحية التصويرية لتصبح مجردة **أي غير ملموسة** .

وإذا كانت تلك الفكرة صحيحة أي إذا لم تكن للقوانين الطبيعية غاية أخرى غير تمكيننا من التكهن بما سيحدث وإذا لم يكن لاستعمالها لمفاهيم ملموسة أو مجردة أية أهمية تذكر فإننا لن نستطيع ربط تقدم المعرفة في الفيزياء بحدود إذ أن شر ما يمكن أن يحدث للفيزيائي فعلا هو أن يجد نفسه غير قادر على وضع قانون بشأن بعض الظواهر المتشعبة إلى درجة أنه لا يجد الوسيلة الرياضية الملائمة لفك المشكل الذي يعترضه.إلا أنه قد يتمكن من الخروج من المأزق بالالتجاء إلى عدد كبير من المعالجات التجريبية وانطلاقا من كل الحالات الأولية التي يمكن تصورها بالنسبة لنظام معين يقوم الفيزيائي بمسح كل ما يمكن أن يتمخض عنها فينتهي اعتمادا على مجمل ملاحظاته ، إلى ضبط الطريقة التي سيتوخاها في القيام بكل تجربة تهم ذلك

الهيكل بعينه وهكذا نستطيع القول إذن بأن لا حدّ للمعرفة في الفيزياء إذا لم نطلب من القوانين الطبيعية إلا تمكيننا من القيام بتكهنات صحيحة .

حدود « المعرفة الملموسة » :

لكن هل من الضروري الرضوخ إلى التصور القائل بأن القانون الطبيعي لا يستطيع منحنا أكثر من وسائل القيام بالتكهنات ؟ إن من الفلاسفة والفيزيائيين أيضا من لا يقف عند ذلك الحدّ بل يعتقد أن لا قيمة للقانون إلا إذا وضع بطريقة تكون عناصره ملموسة على معنى المفاهيم الكلاسيكية .

وانطلاقا من هذه الرؤية ، تتخذ مسألة حدود المعرفة وجها آخر. فأنصار « الملموس » يمتنعون عن الاعتراف لقوانين الميكانيكا الكمية بقيمة المعرفة الكلية ولا يعتبرونها — في أحسن الحالات — إلا معرفة مؤقتة . فحسب هؤلاء مثلا، لا يمكن اعتبار الطبيعة الازدواجية في الضوء مفسرة إلا عندما نتمكن من الالمام بالتجارب في ذلك الشأن باللجوء فقط إلى مفاهيم كلاسيكية . ومن هذه اللحظة يصبح وجود حدود للمعرفة وعدمها منحصرا في تساؤلنا هل أن ذلك ممكن.لكن لا أحد يستطيع الاجابة عن السؤال في الوضع الراهن اجابة اليقين ثم إنه ليس من المستحيل أن ننجح يوما من الأيام في وضع تفسير ملموس لكل ما يحدث في الطبيعة . إلا أن مثل ذلك الامكان يجب أن يعتبر ضعيف الاحتمال . ومتى كلل ذلك الانتظار بالنجاح تم كل شيء فإن المعرفة الملموسة ستبدو هي بدورها بدون حدود إلا أن كل شيء يدعو إلى الاعتقاد بأن المطالبة « بالشيء الملموس » في ذلك الميدان ليست سوى أمنية خيالية غير قابلة للتحقيق إذ أنه يجب عندئذ أن يضبط في لغة ملموسة ما كان يمثل حدا في المعرفة في ميدان الفيزياء الكلاسيكية يعنى به ظواهر الكون المجهري أو بعبارة أخرى أن من الأشياء ما يستبعد غاية الاستبعاد أن تتفتح في يوم من الأيام إلى تفسير ملموس .

خاتمة : طريقة التفكير في الفيزياء

لقد أحدثت الفيزياء الحديثة تغييرا كبيرا في التصور العلمي للطبيعة وذلك التغيير أبعد ما يكون عن موافقة كل الناس . والفيزياء بدون شك لا تجهل قيام الثورات فهي الشرط في تقدمها وهي بصفة عامة تتوخى في اكتشافاتها الحاسمة أسلوبا خاصا بها هو أن قوة تبرز بواسطة تجارب جديدة تظهر في الساحة فلا تتوصل القوانين الطبيعية الراسخة حتى ذلك الحين من استيعابها . فلا بد عندئذ من اقتراح قوانين جديدة تحل محل القديمة ولنذكر ههنا كيف جدّ اكتشاف النشاط الاشعاعي فحرّم إلى الأبد الاعتقاد في ثبوت العناصر الكيميائية .

وبذلك تتمثل حياة الفيزياء إذن في معالجة الواقع معالجة تقريبية تزداد عمقا كل يوم وسط ثورات متكررة . وفي ظروف كتلك برز عامل مثير إلى أقصى حدود الاثارة يتمثل في أن الأفكار الجديدة التي أتت بها الميكانيكا الكمية تبدو غير مستساغة . فتجاوزت هذه المرة مجرد تصحيح يجرى على قوانين سابقة . فالأمر لا يتعلق هذه المرة فعلا بأشياء وأحداث يمكن مشاهدتها في الكون المرئي . ذلك الكون الوحيد الذي شغل الفيزياء الكلاسيكية بل إن الفيزياء الكمية تبحث في الكون المجهري للذرات والقسيمات الصغرى من المادة . إلا أن مسبر ذلك الكون تسبب مباشرة في احداث المفاجأة .فلقد كان يعتقد اعتقادا راسخا أن القوانين التي استنبطتها الفيزياء الكلاسيكية من ملاحظتها للأجسام المرئية يجب أن تكون صالحة أيضا للأجسام المجهرية إذ أن المرء يتساءل لأي سبب يفقد قانون ما صحته حالما يطبق على جسم صغير بدل الجسم الكبير ؟

وسرعان ما تبين في الواقع ، أن قوانين فيزياء الأجسام المرئية لا تنطبق البتة على الذرة والقسيمة بل إن المفاهيم التي بنت عليها الفيزياء الكلاسيكية قوانينها قد فقدت كل معنى عند ادخالها إلى العالم المجهري لذلك وجدت الفيزياء الجديدة نفسها مضطرة للقيام بمراجعة عامة لطريقة التفكير والبحث عن مفاهيم قمينة بأن تصور تصويرا صحيحا الميدان المجهري . ولم يكن محتوى تلك المفاهيم يؤدي إلى تصوير ملموس للأشياء بحيث ضاعفت النزعة التجريدية للنظرية من المصاعب التي تعترض سبيل فهمها بل إن الأمر كان شرّ من ذلك إذ أصبح من الضروري أن تراجع مبادىء حنطت في قوالب أمثلة فبدا في مرحلة أولى أن الضرورة أوجبت التخلي عن أهم تلك المبادىء أي مبدأ السببية فكأن فيزياء الكم تعارض وجود علاقة السبب بالمسبب وتفكر في محض الصدفة التي لا يمكن تقديرها ، كبديل عن السببية .

فكان ذلك خطأ في التأويل إذ لو كانت الصدفة وحدها هي التي تحكم الطبيعة لما كان هناك قوانين تمكننا من استشفاف المستقبل بالنظر في الحاضر ولفقدت الفيزياء عندئذ سبب وجودها . إلا أن أغلب القوانين الفيزيائية تلم بتطور بعض المقادير التي يمكن قيسها عبر الزمن وهي بذاك تربط العلاقة بين الحاضر والمستقبل وتلك العلاقة هي التي تكسو الفيزياء معنى لأنها تجعل التكهن بما سيحدث ممكنا . وهكذا لا بد حسب الميكانيكا الكمية من وجود سببية أيضا ولكن الثورة التي حملتها لا تتعلق إذن إلا بتغيير يخص مفهوم السببية .

وبوصولنا إلى هذه النقطة لا بد من توضيح ما نعني بكلمة «سببية» إذ أن المناقشات في هذا الشأن كثيرا ما تفشل لأن بعضهم لا يرى في السببية ما يراه غيره فيمكن أن نعطي تعاريف مختلفة للسببية . « فكانت » مثلا يعتبرها فكرة مسبقة هي مقدمة ضرورية في كل تجربة وفي الخط المقابل

يرى الفيزيائي أن السببية يجب أن تفهم على أنها مطابقة للهدف الذي يرمي إليه قانون تم سنه من التجربة فهو بذلك عرضة لكل التحريات التجريبية وحسب ذلك القانون يترتب عن نفس الظروف في الطبيعة نفس التطور أو بعبارة أدق تحدث دائما نفس السلسلة من الحالات المتعاقبة في هيكل ما وفي ظروف معينة انطلاقا من حالات أولى متماثلة. وهذه المقولة لا تشكل ـــ بأية حال من الأحوال ـــ ضرورة فكرية أو ضرورة منطقية فهي قد تكون صحيحة وقد تكون خاطئة فإذا تبينت مطابقتها للتجربة استطعنا أن نقول بأن مبدأ السببية يحكم الطبيعة والنتيجة الأساسية لذلك المبدأ هو أن الظواهر الطبيعية قابلة للتكهنات إذ أنه ما دامت السببية قائمة فإنه في الامكان التعرف مسبقا على ما سيؤول إليه كل نظام يوجد في حالة معينة ويخضع لتأثيرات معينة وذلك بالاعتماد على ما سبق من تجارب .

إن هذا التعريف للسببية لا يلتقي والفكرة السائدة العادية التي تنعت السببية بأنها قانون يحتم على كل ظاهرة أن تكون حاملة لظاهرة أخرى هي سببها . إنها فكرة قد ورثناها عن أرسطو مباشرة فقد كان يعتقد أن في الامكان تقسيم كل ما يحدث في الطبيعة إلى جزءين يكون أحدهما بالنسبة للآخر في علاقة المسبب بالسبب إلا أن هذا التصور لا معنى له في لغة الفيزياء . إذ ليس لمجموعة من الظواهر الطبيعية سبب وحيد بل أسباب كثيرة مترابطة ببعضها ترابط السلسلة ومعنى ذلك أن العديد من تلك السلاسل تستطيع التضافر سببيا في حدوث ظاهرة معينة .

فالسببية إذن من وجهة رأي الفيزياء تبدو كمبدأ أكثر تشعبا مما يفهم عادة من تلك الكلمة . فالحدث رقم (1) لا يرجع إلى الحدث رقم (2) كسبب له بل إن كل حدث هو نتيجة لكل الأحداث التي سبقته أي أن نظام الطبيعة

يسمح لنا بعبارة أخرى بالتأكد مما ستؤول إليه الحالات النهائية في هيكل ما ، انطلاقا من حالته الراهنة .

والفيزياء الكلاسيكية لم تتخل أبدا عن ذلك المبدأ . فهذه القوانين الأساسية ، قوانين الميكانيكا والكهرديناميكا ، ترجع بنا دائما إلى مشتقات مقادير عديدة بالنسبة للزمن كالدفع الميكانيكي أو حقل القوى . وهي بذلك تربط بين قيمة تلك المقادير في زمن ما وقيمتها في اللحظة التالية المباشرة مكرسة بذلك وجود رابطة بين الحاضر والمستقبل .

إلا أن العلماء عند شروعهم في دراسة الذرة ، قد تفطنوا إلى أن مبدأ السببية أصبح محل جدال . فالسببية تفترض أن الظواهر الطبيعية تكون كلا تتواصل فيه حالة النظام في لحظة ما بالحالة التي تليها مباشرة والميدان المرئي يلي ذلك الشرط ويخضع للمبدأ القائل بأن الطبيعة لا تقفز قفزا أثناء تحولها. فلا شيء يعارض التصور السببي الصرف إذن ، في ذلك الميدان.أما الميدان المجهري فهو على العكس من ذلك مثال لسلوك مختلف تمام الاختلاف بحيث لا يصح فيه المبدأ الآنف الذكر بل إن صفته المميزة هو أنه لا يتحول من حالة إلى أخرى إلا بحركات فجئية فلا تسمح آلة التصور في الفيزياء بتحليل تلك الأفعال الأولية التي تستعصي على كل وصف فضازمني . ولنأخذ يتمثل في أن الكترونا في الذرة استبدل حالة حركته بحالة أخرى إلا
يتمثل في أن الكترونات في الذرة استبدلت حالة حركته بحالة أخرى إلا أن ذلك التحول من حالة إلى أخرى تم بعملية لا تقبل التحليل ولا نستطيع معالجتها لأن المفاهيم الملموسة التي بحوزتنا لا تصلح لذلك . وإذا كانت الميكانيكا الكمية على حق فإن اللغة العادية المتداولة تصبح عاجزة عن التعبير على تصرف الذرة فتصدر أو تمتص الضوء واللغة عاجزة عن التعبير عن ذلك لأن الحدث لا يتلاءم وذلك النوع من التصوير غير أن ذلك يعني أن العملية

المعنية قد فتحت ثغرة في تواصلية الظواهر وأحدثت فراغا لا يمكن تجاوزه ويحطم ــ وهذا هو المهم هنا ــ سلسلة العلاقات السببية . إن ذلك الصنف من العمليات التي تمكن تجزئتها لا يمكن ترتيبه حسب نظام سببي أو بعبارة أخرى نحن لا نستطيع التكهن بظهوره . ففي الطبيعة تجدّ أحداث مغلقة في وجه كل محاولة سبر لها ونحن نجهل ما الذي يجعل الذرة تغير حالتها فجأة فتشع ونحن لا نستطيع كذلك أن نعرف مسبقا متى ستنقسم ذرة مشعة فتصدر قسيمة (α) أو قسيمة (β) فستحيل إلى ذرة أخرى مختلفة عن الأولى . إذ أن ذلك التحول يشكل فعلا غير قابل للتجزئة ، يقع خارج السببية لننظر في مثال آخر في التحول الذي يطرأ على الالكترون عند اسقاطه على بلورة . إنه في تلك الحالة يصطدم بإحدى ذرات البلورة فيطرأ بذلك انحراف على اتجاه حركته ، بحيث يغادر البلورة في اتجاه مختلف . إنها لعملية أخرى لا سبب لها ولا تسمح لنا ظروف التجربة فيها بالتنبؤ لا بإتجاه الانحراف ولا بقيمته . ولو أعدنا التجربة في ظروف مماثلة تماما للتي سبقتها لكانت النتيجة رغم ذلك مختلفة كل مرة .

فهكذا إذن تجدّ أحداث في النطاق المجهري ، لا تحتمل تفسيرا سببيا لأن حدوثها الفضازمني ليس في متناولنا فعلاقات التشكك الواردة في الميكانيكا الكمية تفيد أنه من المستحيل قيس مقداري حالة في نفس الهيكل بصفة متواقتة صحيحة (كموقع القسيمة وسرعتها مثلا في الآن نفسه) وعلاقات التشكك تلك تلم بمظهر من مظاهر تلك الأحداث فتعود بنا إلى الفكرة الأساسية القائلة بأن كل قيس نقوم به في نظام ما يعني تدخلا يحدث عملية لا يمكن تفكيكها.فالنتيجة إذن هي أن قيس مقدار ما يحول دون معرفة مقدار آخر بحيث لن نتوصل أبدا إلى التعرف تعرفا صحيحا على حالة النظام في كل مقاديره المميزة . وهذا الوضع لا يعزى إلى تقنية في وسائل القيس

غير كاملة قد نتمكن مستقبلا من تجاوزها بل هو وضع ناجم عن حدّ في امكانات القيس قد سنه قانون طبيعي .

وما دام الأمر كذلك فإن السؤال الأساسي يصبح هذا : بما أن العمليات الأولية لا يمكن تحليلها فهل يعني ذلك أن ما يحدث على المستوى المجهري ناتج عن محض صدفة لا نستطيع حسابها ؟ أو بعبارة أخرى هل يفقد مبدأ السببية كل صحته نظرا لأن عمليات ما لا تسمح لنا بالتعرف على المستقبل انطلاقا من الحاضر ؟ جوابنا المباشر هو أن الميكانيكا الكمية تعترف بوجود سببية إلا أن تلك السببية لا تسمح بتنبؤات يقينية بل تسمح فقط باحتمال حدوث هذا الحادث أو ذاك . ولنوضح ذلك بمثال : فكما سبق أن قلنا ينتهج انقسام ذرة مشعة مسلكا يتحدى كل تنبؤ وتستطيع ذرة ما أن تنقسم في هذه اللحظة كما تستطيع ألا تنقسم إلا بعد سنة وليس معنى ذلك أن الانقسام خاضع لمحض الصدفة إذ أننا فعلا لو عالجنا الأمر لا بواسطة ذرة واحدة بل بعدد كبير من الذرات لسمح لنا بأن نعرف كم من بين تلك الذرات سينقسم في فترة زمنية مستقبلة معينة مسبقا وذلك بدقة في الحساب مرتفعة جدا . وبعبارة أخرى إذا كنا لا نستطيع التفطن مسبقا إلى انقسام الذرة في حالة ذرة معزولة فإن الانقسام يخضع لا محالة لاحتمال محدد أي لقانون يمكننا من الاصداع بتكهن من النوع الاحصائي .

ولسوف نتبين ذلك بأكثر وضوح بواسطة مثال آخر هو مثال الالكترونات المتساقطة على البلورة : فنحن لا نستطيع التعرف مسبقا على مدى الانحراف الذي يحدث للاكترون الواحد إثر مروره من البلورة. فلنتصور أننا وضعنا خلف تلك البلورة صفيحة فوتوغرافية قصد معرفة ذلك الانحراف . إن كل الكترون يقع على الصفيحة سيترك بها أثرا يتمثل في اسوداد حبيبة من حبيباتها

الفضيّة وبذلك نتمكن من النظر في الانحراف. فنحن فعلا لو قمنا بتلك التجربة المرار العديدة معيدين بدقة في كل مرة الطريقة التي توخيناها في قنبلة البلورة لارتطم الالكترون المنحرف بالصفيحة مرة في هذه النقطة ومرة في تلك ولكن مهما اختلفت النقاط فإننا سنتبين أن الانحرافات لا تخرج البتة عن اتباع قانون ما . فإذا ما واصلنا التجربة فترة طويلة ظهرت صورة على الصفيحة تبين لنا أن هناك اتجاهات يكون فيها انحراف الالكترون أكثر في حين أن الانحراف معدوم في اتجاهات أخرى وهذا ما يسمح لنا بابداء تكهنات مسبقة مبنية على الاحتمالات . إن مثل هذا النوع من السببية المحدودة سببية احصائية تجعلنا نستشف المستقبل من الحاضر .

لقد شخصنا أثناء مسيرتنا هذه طريقة التفكير في الفيزياء المعاصرة . إنه تفكير احصائي أساسا ومعنى ذلك أن كل القوانين التي تربط بين الحاضر والمستقبل لا تتعلق أبدا بحالة معزولة بل هي تتعلق دائما بالسلوك الاحصائي لعدد كبير من الحالات .

لكن مسألة أخرى تبقى معلقة : لأي سبب اضطرت الفيزياء الجديدة إلى التخلي عن المعرفة اليقينية فاكتفت بالمعالجة الاحصائية الصرف ؟ إن ذلك الوضع ناجم عن اتصاف التطورات الأولية التي تتألف منها الظواهر المجهرية بأنها غير قابلة للتحليل فهي تطورات تحدث قطيعة في العلاقات السببية وتطبع كل مجموعة معزولة من الظواهر بتحديد خاص . إلا أننا لا نستطيع الاصداع رغم ذلك بأن تلك التطورات تمحو كل شكل من أشكال التحديد في مجموع الظواهر الطبيعية . ففي الواقع إن تلك التطورات التي لا تقبل التجزئة تحطم نوعا من السببية ولا شيء غير ذلك ونحن لا نستطيع أن نعتبر أن مجموعة منعزلة عن الظواهر قد تم تحديدها سببيا لأن التطورات مجلبة في ترابطها السببي لتقطعات تستعصي على كل تحليل. على أن ذلك التسلسل

يمكن إعادة بنائه احصائيا من جديد إثر إعادة التجربة المرار العديدة. وسنغذي حديثنا بمقارنة : لنفرض أن مرسلة هي بصدد البث وأن خللا متقطعا يطرأ على الجهاز فيجعل الرسالة غير مفهومة لدى المستمعين إلا أن الرسالة وإن مكثت مغلقة في تلك الظروف فهناك طريقة لاعادة المعنى إليها وذلك بأن يعيد الجهاز المرسل بثها عدة مرات ففي كل مرة يكون التقطع في موضع مختلف وبذلك تمكّن إعادة البث من بناء محتوى الرسالة كاملا . فنكون — تماما كما هو الحال بالنسبة للسببية — قد نجحنا في البرهنة على وجود علاقة بين مختلف مقتطفات الرسالة وذلك بواسطة الاحصائيات دون سواها .



الفهـــرس

الفصـل الثانـي :

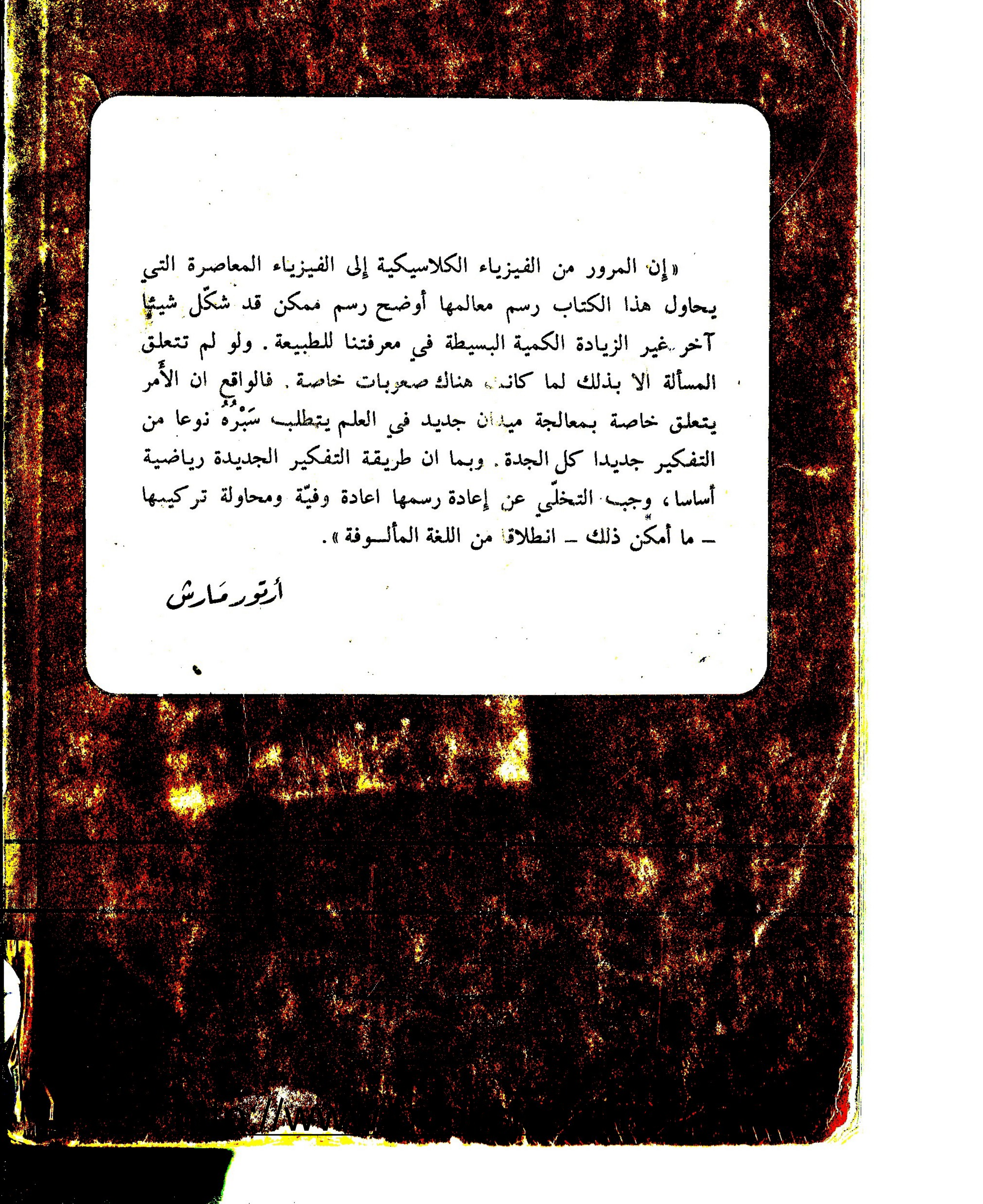
الفصـل الثـالث :

الفصـل الرابـع :

رقـم الايـداع الشـرعي
بـدار الكتـب الوطنيـــة
قســم الإيـداع الشرعـي والنشـر
732/86

طبع بمصنع الكتاب
للشركة التونسية للتوزيع
5، شارع قرطاج ـ تونس
T T 25/3/86
ديسمبر 1986 ـ ربيع الثاني 1407

سحب من هذا الكتاب 3000 نسخة في طبعته الأولى



«إن المرور من الفيزياء الكلاسيكية إلى الفيزياء المعاصرة التي يحاول هذا الكتاب رسم معالمها أوضح رسم ممكن قد شكّل شيئا آخر غير الزيادة الكمية البسيطة في معرفتنا للطبيعة. ولو لم تتعلق المسألة الا بذلك لما كانت هناك صعوبات خاصة. فالواقع ان الأمر يتعلق خاصة بمعالجة ميدان جديد في العلم يتطلب سَبْرُهُ نوعا من التفكير جديدا كل الجدة. وبما ان طريقة التفكير الجديدة رياضية أساسا، وجب التخلّي عن إعادة رسمها اعادة وفيّة ومحاولة تركيبها – ما أمكن ذلك – انطلاقا من اللغة المألـوفة».

أرتور مارش